

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2016

Bc. Karel Gallus

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Návrh koncepce chránění v Off-GRID systémech**

Design of Relay Protection Scheme in Off-GRID Systems

2016

Bc. Karel Gallus

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Karel Gallus**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh koncepce chránění v Off-GRID systémech  
Design of Relay Protection Scheme in Off-GRID Systems

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popis koncepce Off-GRID systémů
2. Analýza současného stavu techniky pro jištění domovních instalací pro On-GRID a Off-GRID systémy
3. Návrh koncepce chránění při respektování specifických vlastností Off-GRID systémů
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] STUCHLY, Jindrich, Jakub VRAMBA, Stanislav MISAK, Peter BRACINIK a Marek HOGER. Monitoring of hybrid system using Labview. 2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). IEEE, 2013, s. 42-47. DOI: 10.1109/EEEIC-2.2013.6737880.
- [2] STUCHLY, Jindrich, , Jakub VRAMBA, Stanislav MISAK ,Marian UHER a Petr KUBALIK. Control of autonomous active distribution grid - introduction. 2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering. IEEE, 2014, s. 328-333.
- [3] JIAN, Chen, Che YANBO a Zhao LIHUA. Design and research of off-grid wind-solar hybrid power generation systems. 2011 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications. IEEE, 2011,
- [4] MIŠÁK, Stanislav, Lukáš PROKOP a kol. Provozní vlastnosti obnovitelných zdrojů. Těšínské papírny, s.r.o., c2014. 232 p. ISBN 978-80-260-6184-7.
- [5] Jakub VRAMBA, KOSMAK, Jakub, , Marian UHER, Jindrich STUCHLY a Petr KUBALIK. Short-circuit protection in Off-Grid system. 2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering. IEEE, 2014, s. 339-344. DOI: 10.1109/EEEIC.2014.6835890.
- [6] HOULEI GAO, J. D., R. QINGLE PANG, V. C. YANQIU AN, R. GULES, L. LIPPMANN a A. SOLETTI. New type of protection and control method for smart distribution grid. 11th IET International Conference on Developments in Power Systems Protection (DPSP 2012). IET, 2012, s. 24-24. DOI: 10.1049/cp.2012.0009.
- [7] ABB: Feeder Protection and Control REF615 IEC. [online]. [cit. 2014-02-02].

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 1.7.2016...

podpis Karel Gallus

Bc. Karel Gallus

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi dodali potřebné informace k vypracování mé diplomové práce, zejména však mému vedoucímu práce, doc. Ing. Stanislavu Mišákovi, Ph.D. za poskytnutí důležitých rad a materiálů.

## **Abstrakt**

Tématem diplomové práce je návrh koncepce chránění v Off-GRID systému, s ohledem na stávající dostupnou jistící techniku. Po základním dělení Off-GRID systémů se práce blíže zaměřuje na klíčové prvky tvořící základ každého takového systému, upřesňuje jejich funkci a chování v obvodu. Následně dochází k analýze jistící techniky používané pro jištění standardních On-GRID domovních instalací a jistící techniky dostupné pro méně obvyklé Off-GRID aplikace. Poslední část práce tvoří samotný návrh chránění při respektování specifických vlastností Off-GRID systémů.

## **Klíčová slova**

Off-GRID, jistící prvky, pojistka, jistič, proudový chránič, přepět'ová ochrana, podpět'ová ochrana, zkrat, přetížení, fotovoltaika

## **Abstract**

Topic of this thesis is design of relay protection scheme in Off-GRID systems with regard to the available protection technology. After basic partition of Off-GRID systems this thesis closely focuses on the key elements forming the basis of each such system, specifies their function and behaviour in the circuit. Afterward occurs the analysis of protection technology used for protection of standard On-GRID electrical house installation, and protection technology available for less common Off-GRID application. The last part of the thesis consists of the design of protection with respect to the specific properties of Off-GRID systems.

## **Keywords**

Off-GRID, protection elements, fuse, breaker, current protection, overvoltage protection, undervoltage protection, short-circuit, overload, photovoltaics

## Seznam použitých obrázků

Obr. 2-1	Základní DC ostrovní systém [1].....	12
Obr. 2-2	Základní DC / AC ostrovní systém [1] .....	12
Obr. 2-3	Ostrovní systém s elektrocentrálou [1] .....	13
Obr. 2-4	Ostrovní systém s větrnou turbínou [1] .....	14
Obr. 2-5	Hybridní (On-GRID) fotovoltaický systém [2] .....	14
Obr. 2-6	Struktura křemíkového článku [3] .....	15
Obr. 2-7	Náhradní schéma fotovoltaického článku [4] .....	16
Obr. 2-8	V-A charakteristika fotovoltaického článku [3] .....	16
Obr. 2-9	Vliv teploty a intenzity záření na V-A char. článku [5].....	17
Obr. 2-10	Mechanická konstrukce FV panelu; Monokrystalický FV panel [3].....	18
Obr. 2-11	Příklady zapojení bypass diod v panelu [6] .....	19
Obr. 2-12	Detail gondoly malé větrné elektrárny [7] .....	20
Obr. 2-13	Aircon 10S; WB Windkraftanlagen; AeroCraft 240 [8].....	21
Obr. 2-14	Speciální mikroelektrárny typu Energy Ball; Darrieus / Savonius [9] .....	21
Obr. 2-15	Elektrocentrála SG950; Honda EM 30 K2 F [10] .....	22
Obr. 2-16	Solární regulátor CARSPA CS1212 12 V / 12 A [11] .....	23
Obr. 2-17	MPPT tracer 2215RN (20 A / 150 V) [12] .....	24
Obr. 2-18	Výstup měniče - modifikovaná sinusovka, čistá sinusovka [13] .....	25
Obr. 2-19	Měnič napětí CarSpa CAR500U; CarSpa P2000 [14] .....	26
Obr. 2-20	Trakční baterie VARTA 12 V, 140 Ah [15].....	27
Obr. 2-21	Řez AGM akumulátorem; Gelový akumulátor EXIDE 85 Ah [16] .....	28
Obr. 2-22	LFP článek 3,2 V; 40 Ah [17] .....	29
Obr. 3-1	Selektivita ochrany v obvodu .....	31
Obr. 3-2	Správná selektivita pojistek; Správná selektivita jističů .....	32
Obr. 3-3	Příklad jističích prvků .....	32
Obr. 3-4	Vypínací charakteristika pojistky [18] .....	34
Obr. 3-5	Omezovací charakteristika pojistky [20] .....	35
Obr. 3-6	Popis konstrukce závitové pojistky a pojistkové vložky [19].....	35
Obr. 3-7	Popis konstrukce nožové pojistky; Pojistka OEZ 63A aM [21].....	36
Obr. 3-8	Popis konstrukce jističe; Jistič ABB S201-B 16A [22] .....	37
Obr. 3-9	Vypínací charakteristika jističů třídy B, C a D [20] .....	38
Obr. 3-10	Popis konstrukce proudového chrániče [23].....	39
Obr. 3-11	Proudový chránič čtyřpólový Moeller PF6-40/4/003 [23].....	40
Obr. 3-12	Kombinovaný jistič a chránič BONEGA [24] .....	40
Obr. 3-13	Impulzní výdržná napětí $U_{imp}$ pro síť nn 230 / 400 V [25] .....	41
Obr. 3-14	Svodič přepětí Eaton třídy T1 + T2, 4pól, TN-S [26] .....	42
Obr. 3-15	Zapojení 4+0 v síti TN-S; Zapojení 3+1 v síti TN-S [27] .....	42
Obr. 3-16	Hřebenová soustava; Mřížová soustava; Tyčový hromosvod [28].....	43
Obr. 3-17	Stožárový hromosvod; Závěsový hromosvod; Klecový hromosvod [28] .....	43
Obr. 3-18	Budova s hromosvodem a dostatečnou izolační vzdáleností [30] .....	45
Obr. 3-19	DEHNguard®; DEHNventil®; DEHNcombo® [30] .....	46
Obr. 3-20	Budova s hromosvodem a nedostatečnou izolační vzdáleností [30].....	46
Obr. 3-21	Zatěžovací charakteristika Off-GRID měniče [31].....	49
Obr. 3-22	Průběhy napětí a proudu během 1f. zkratu v Off-GRID systému .....	50
Obr. 3-23	DC jistič dvoupólový, DC odpojovač pojistek [32], [33].....	51
Obr. 3-24	AC podpětíová spoušť SP-LP, AC jistič dvoupólový LPN [32].....	51
Obr. 3-25	Průběh vypnutí 1f. zkratu na spotřebiči číslicovou ochranou.....	52
Obr. 4-1	Schéma zapojení ostrovního systému [34] .....	53
Obr. 4-2	Svodič přepětí SVF-1000 [35].....	54

Obr. 4-3	Odpojovač pojistek OPF10-2 DC [33] .....	54
Obr. 4-4	Dvoupólový jistič LPN-DC-63C-2 [32] .....	54
Obr. 4-5	Dvoupólový jistič LST-DC-125C-2 [36].....	55
Obr. 4-6	Podpěťová spoušť SP-LP-A230 [32].....	55

## Seznam použitých tabulek

Tab. 2-1	Orientační přehled stavu nabití akumulátoru.....	29
Tab. 3-1	Značení tavných pojistkových vložek nízkého napětí [19].....	34
Tab. 3-2	Značení přístrojových pojistek [19].....	34
Tab. 3-3	Třídy přepětových ochran [25].....	42
Tab. 3-4	Tabulka tříd LPS [29] .....	44



## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Koncepce Off-GRID systémů .....</b>	<b>11</b>
2.1	Dělení Off-GRID systémů.....	11
2.1.1	Základní ostrovní systémy .....	12
2.1.2	Robustnější ostrovní systémy.....	13
2.2	Jednotlivé části Off-GRID systémů.....	15
2.2.1	Fotovoltaický článek, panel .....	15
2.2.2	Malá větrná elektrárna.....	20
2.2.3	Elektrocentrála .....	22
2.2.4	Solární regulátor, MPPT měnič.....	23
2.2.5	Měnič napětí.....	25
2.2.6	Akumulátory .....	27
<b>3</b>	<b>Technika pro jištění domovních instalací.....</b>	<b>30</b>
3.1	Selektivita ochrany .....	31
3.1.1	Úrovně selektivity .....	32
3.2	Jištění On-GRID systémů.....	33
3.2.1	Tavná pojistka .....	33
3.2.2	Jistič .....	37
3.2.3	Proudový chránič .....	39
3.2.4	Přepět'ová ochrana .....	41
3.2.5	Ochrana před úderem blesku.....	43
3.2.6	On-GRID solární systém.....	45
3.3	Jištění Off-GRID systémů .....	47
3.3.1	Základní integrované ochrany.....	47
3.3.2	Poruchový stav - přetížení.....	49
3.3.3	Poruchový stav - zkrat.....	49
3.3.4	Jištění stávající technikou .....	51
3.3.5	Ostatní typy jištění .....	52
<b>4</b>	<b>Návrh koncepce chránění .....</b>	<b>53</b>
4.1	Jednotlivé prvky Off-GRID systému.....	53
4.1.1	Jistící prvky Off-GRID systému .....	54
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>

# 1 Úvod

Využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie je v oblasti energetiky jedním z hlavních důvodů pro výzkum a vývoj nových technologií. V České republice se jedná především o instalace fotovoltaických a větrných elektráren. Oba tyto typy elektráren představují ekologický zdroj čisté energie, jejíž výrobou nedochází ke znečišťování životního prostředí.

Velký rozmach především fotovoltaických elektráren nastal v České republice před několika lety, kdy vznikl požadavek na navýšení elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Zavedením velkých dotací jak na samotnou výstavbu elektráren tohoto typu, tak na následný odkup vyrobené elektrické energie došlo během pár let ke značnému zvýšení podílu výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Takto velký plošný růst energie z obnovitelných zdrojů znamenal určité riziko pro narušení stability distribuční sítě. Následovalo prudké snížení dotací a zamítání připojení dalších nových fotovoltaických elektráren na distribuční síť.

Tyto opatření vedly k úvahám nad alternativním využitím elektráren tohoto typu. Logickým krokem byla snaha provozovat solární elektrárny samostatně bez propojení s distribuční soustavou. Prvotní poptávka po tomto typu ostrovních Off-GRID elektráren vznikla na místech, kde nebylo možné přivést elektrickou energii z přípojky distribuční sítě. Na takovýchto odlehlých místech začaly pomalu vznikat ostrovní systémy, tj. elektricky nezávislé budovy pracující odděleně od distribuční soustavy (odtud název Off-GRID).

Postupem času, jak se technologie pro provoz ostrovního systému zdokonalovaly, začaly se rozšiřovat i do míst, kde nebyla nouze o energii z přípojek distribuční sítě. Důvodem může být jak klesající cena potřebných zařízení, tak snaha se alespoň částečně osamostatnit od dodávek energií.

Stejně jako se klasické domovní rozvody elektrické energie musí jistit před účinky elektrického proudu, jištění musí být zajištěno také u Off-GRID systémů. Nejběžnější poruchové stavy, které mohou v obou typech elektrických instalací vznikat jsou např. přepětí, přetížení nebo zkrat.

Jelikož jsou oba tyto typy elektrických instalací v tomto ohledu odlišné, jsou i projevy poruchových stavů v obou těchto typech (On-GRID vs. Off-GRID) značně rozdílné.

Cílem této diplomové práce je zjistit, do jaké míry se dají použít konvenční jistící prvky v instalacích Off-GRID systémů tak, aby byl zajištěn jejich bezpečný a spolehlivý provoz.

## **2 Koncepce Off-GRID systémů**

Jako primární zdroj elektrické energie ostrovního systému (Off-GRID) se předpokládá fotovoltaická elektrárna umístěná na střeše budovy, případně malá větrná elektrárna. Energie vyrobená fotovoltaickými panely je vedena přímo ke spotřebičům, nebo v případě přebytků energie do akumulátorů. Tato elektrická energie se využívá v době, kdy fotovoltaické panely nedodávají dostatek elektrické energie (např. v noci, při zatažené obloze, atd). Tyto systémy jsou velice variabilní a jsou vždy navrhovány pro konkrétní aplikace. Při menších aplikacích mohou být fotovoltaické panely rovnou napojeny na spotřebič a může být využívána jejich okamžitá elektrická energie, např. pro ohřev vody, ventilaci, čerpadlo aj.

Tak ale jako všechny zdroje elektrické energie má i fotovoltaika své specifické požadavky. Řada prvků je umístěna ve venkovním prostředí na velké ploše, což přináší požadavky na odolnost vůči UV záření, teplotním změnám a povětrnostním vlivům. Velmi důležitá je zde také ochrana před bleskem a přepětím. Komponenty musí být navrženy na dobu životnosti systému 20 let a více, nebo musí být snadno vyměnitelné. Všechny komponenty mezi fotovoltaickými panely a střídačem musí být vhodně dimenzovány pro provoz při stejnosměrném napětí, včetně jisticích prvků. U větších systémů může toto napětí dosahovat hodnoty kolem 1000 V. S tím souvisí také vhodné dimenzování kabelů a dostatečné oddělení od datových vodičů.

Mezi hlavní rozdíly Off-GRID systémů oproti standardním solárním systémům patří absence napojení na distribuční síť a přítomnost akumulátorů v systému. Většinou se budují na místech, kde není přístup k rozvodné síti, nebo v lokalitách, kde by zřízení elektrické přípojky znamenalo vysoké finanční náklady.

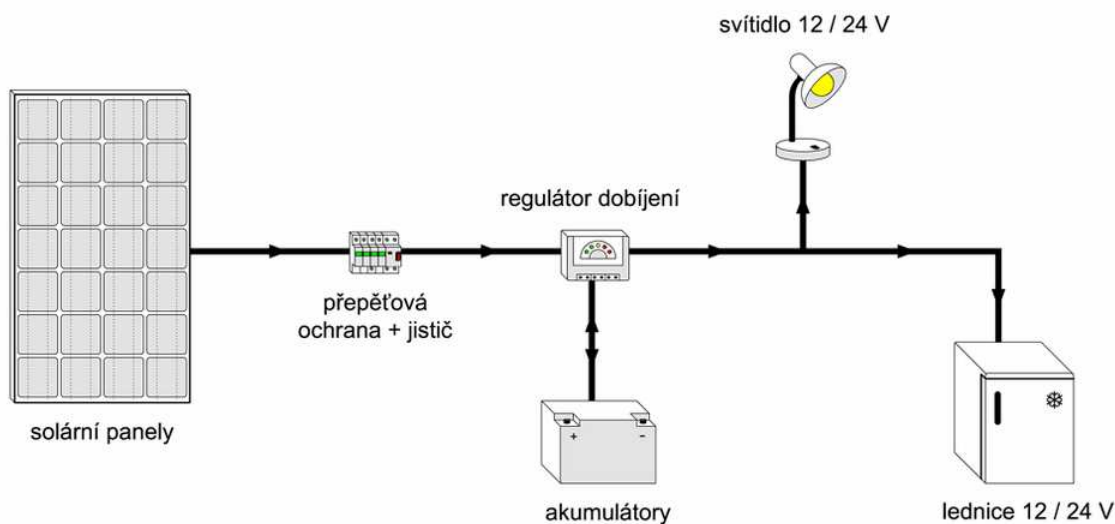
### **2.1 Dělení Off-GRID systémů**

Jelikož jsou tyto systémy velmi variabilní, existuje velké množství variant a kombinací tohoto typu. Nejdůležitější pro výběr vhodného typu Off-GRID systému je velikost instalovaného výkonu, lokalita a podnebí. Pak jen záleží, jakou vhodnou kombinací zdrojů elektrické energie tohoto požadovaného výkonu dosáhneme.

V závislosti na požadovaném výkonu Off-GRID systému a jeho ceně mohou sloužit v dnešní době k nejrůznějším účelům. Od těch nejmenších instalací pracujících pouze s DC napětím, až po větší instalace s měničem napětí na 230 V AC. Jako primárního zdroje elektrické energie se používá solárních panelů. Ve vhodných podmínkách mohou být spolu s fotovoltaickými panely instalovány také malé větrné elektrárny. Jako záložní zdroj elektrické energie pro Off-GRID systémy se nejčastěji volí elektrocentrála.

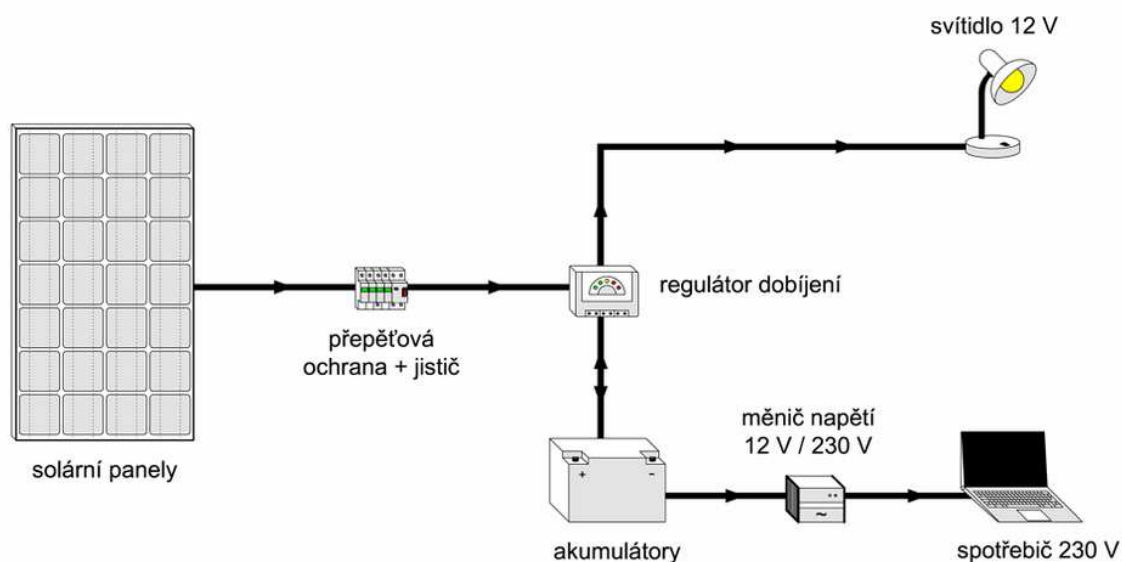
### 2.1.1 Základní ostrovní systémy

Mezi ty základnější aplikace ostrovních systémů v dnešní době patří napájení dopravních informačních tabulí, značek, venkovních parkovacích automatů, případně také napájení menších meteorologických stanic v odlehlých místech.



**Obr. 2-1** Základní DC ostrovní systém [1]

Malý ostrovní systém na Obr. 2-1 je určen pouze pro napájení DC spotřebičů nízkého napětí 12 V / 24 V.



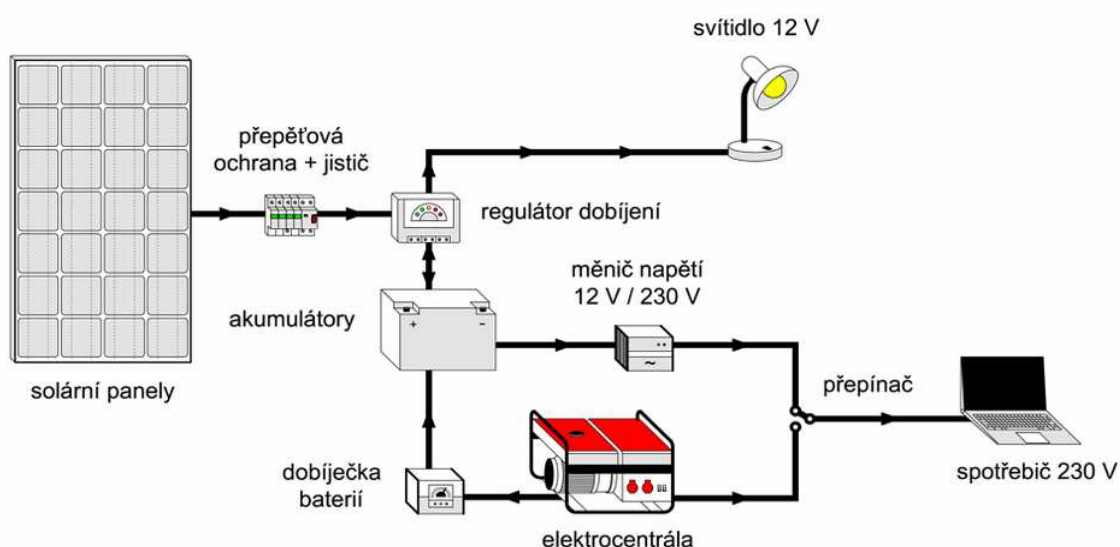
**Obr. 2-2** Základní DC / AC ostrovní systém [1]

Častější variantou zapojení ostrovních systémů je kombinace s měničem napětí 12 V DC / 230 V AC, viz. Obr. 2-2. Výhodou těchto systémů je jednoduchost a snadná manipulace v případě potřeby. Svými výkony jsou dostačující pro malé sezónní chatové objekty, případně pro karavany a camping. Tyto systémy bývají navrženy do výkonů 1 kWp.

## 2.1.2 Robustnější ostrovní systémy

Může nastat situace, kdy solární panely nebudou pro ostrovní systém dostatečný zdroj elektrické energie. Týká se to především objektů s celoročním provozem, kdy během zimních měsíců vyrábí solární panely podstatně méně elektrické energie než v létě. Je tedy nutné mít v případě potřeby k dispozici záložní zdroj energie (elektrocentrálu).

Elektrocentrála se napojí na akumulátory přes dobíječku baterií, která přeměňuje AC proud elektrocentrály na DC nabíjecí proud akumulátorů. Zpravidla při jejím chodu dochází k odpojení od ostrovního systému (měniče napětí) a k přímému napájení spotřebičů 230 V AC. Ke spínání elektrocentrály dochází manuálně nebo automaticky, podle zvoleného typu měniče napětí a elektrocentrály. Schéma takového zapojení lze vidět na Obr. 2-3.

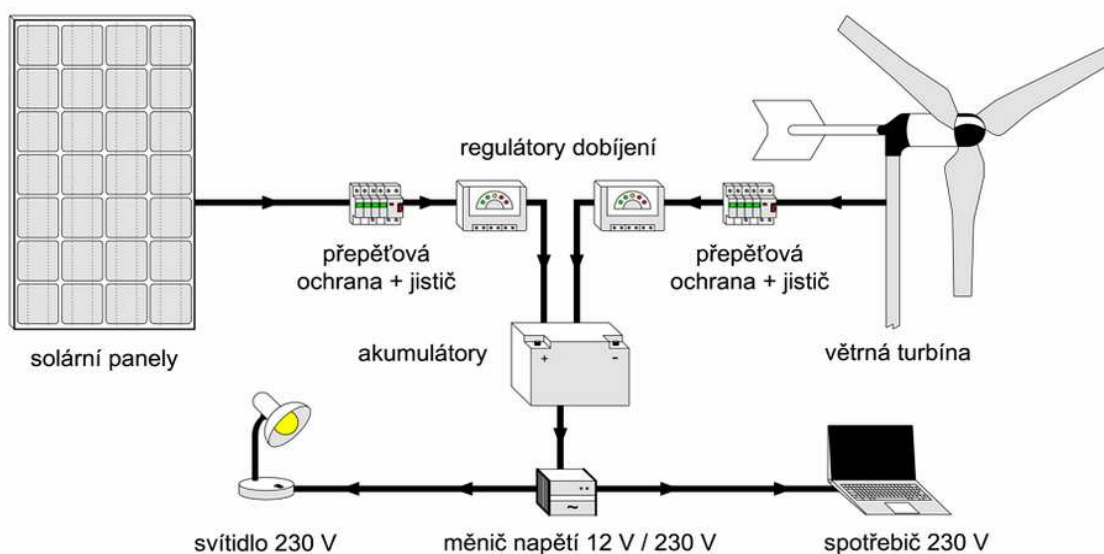


Obr. 2-3 Ostrovní systém s elektrocentrálou [1]

Tento typ ostrovního systému je určen pro pevnou instalaci, a od základních ostrovních systémů se liší nejen použitou elektrocentrálou, ale také volbou pokročilejších měničů napětí, větší kapacitou akumulátorů a několikanásobně vyšším instalovaným výkonem panelů. Ten se pohybuje od hodnoty 2 kWp výše.

Takto vybavené ostrovní systémy lze doplnit dalším zdrojem elektrické energie, a to malou větrnou turbínou. V České republice však nejsou na většině území pro tento typ elektrárny vhodné podmínky. Je to dáno typem krajiny a nadmořskou výškou. Takovéto instalace se vyplatí jen na určitých místech, jako jsou vnitrozemské vrchoviny a pohoří podél hranic České republiky. V nížinách se taková místa s dostatečnou průměrnou rychlostí větru hledají obtížně.

Připojení zvolené větrné turbíny do ostrovního systému se realizuje přes vlastní regulátor dobíjení. Každý zdroj elektrické energie má tedy vlastní regulátor dobíjení. Baterie mohou být dobíjeny z různých zdrojů elektrické energie najednou. Zbylá část ostrovního systému zůstává nezměněna, viz. Obr. 2-4.



Obr. 2-4 Ostrovní systém s větrnou turbínou [1]

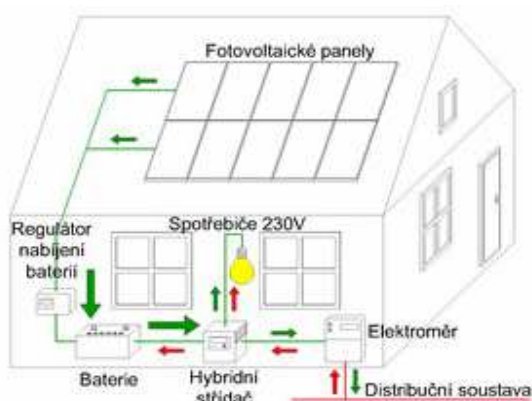
Výhody ostrovních systémů jsou tedy jednoznačné:

- energetická nezávislost
- dostupnost elektrické energie i v místech bez centrální přípojky
- možnost kompaktního přenosného provedení (základních ostrovních systémů)

Při návrhu a instalaci ostrovního systému je třeba počítat také s nevýhodami:

- značné výkyvy výroby elektřiny během nepříznivého počasí a zimních měsíců
- omezená životnost, nutnost občasných kontrol a údržby
- potřeba elektrocentrály (vysoká cena pohonných hmot)
- vysoké pořizovací náklady (u robustnějších systémů)
- nutnost dodatečného zdroje tepla pro vytápění (kotel na tuhá paliva)

Některé nevýhody lze částečně odstranit realizováním hybridního (On-GRID) systému:



Obr. 2-5 Hybridní (On-GRID) fotovoltaiický systém [2]

Tento systém už ale nelze plně považovat za ostrovní, neboť centrální přípojka zde plní úlohu záložního zdroje elektrické energie, případně zdroje pro vytápění.

Pokud je v dané lokalitě centrální přípojka elektrické energie dostupná, je z ekonomického hlediska výhodné ji využít. I v případě dlouhodobě nepříznivého počasí je tak zaručena stabilní dodávka levné elektrické energie.

## 2.2 Jednotlivé části Off-GRID systémů

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole, ostrovní systémy se skládají z mnoha částí. V dnešní době je většina těchto částí dostupná v mnoha typech a provedeních, v závislosti na požadavcích zákazníka. Jelikož spolu musí všechny tyto části správně spolupracovat, je nutné popsat jejich principy a funkci v ostrovním systému. Vhodná volba jednotlivých částí při návrhu ostrovního systému je nezbytná pro jeho správnou (a bezpečnou) funkci, vysokou účinnost a dlouhou životnost.

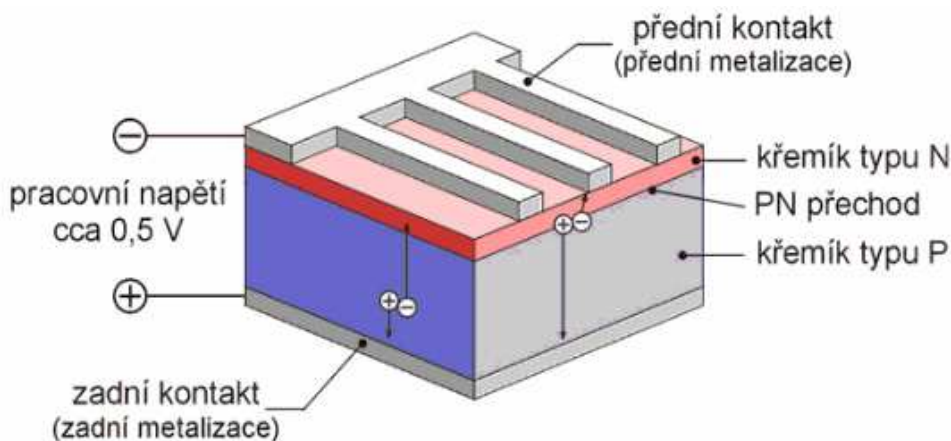
### 2.2.1 Fotovoltaický článek, panel

Fotovoltaický článek je plošná polovodičová součástka, jejíž vlastností je přeměna světelného záření na elektrickou energii. Vyrábí se z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku. Oba tyto typy mají své výhody a nevýhody, které je předurčují pro rozdílné použití.

Principem fotovoltaického článku je fotoelektrický jev, při kterém dochází k uvolňování elektronů z látky v důsledku absorbování elektromagnetického záření. Tato absorpce je způsobena vzájemnou interakcí světla (fotonů) s částicemi hmoty (elektrony a jádra). Ve fotovoltaickém článku nastávají tyto případy:

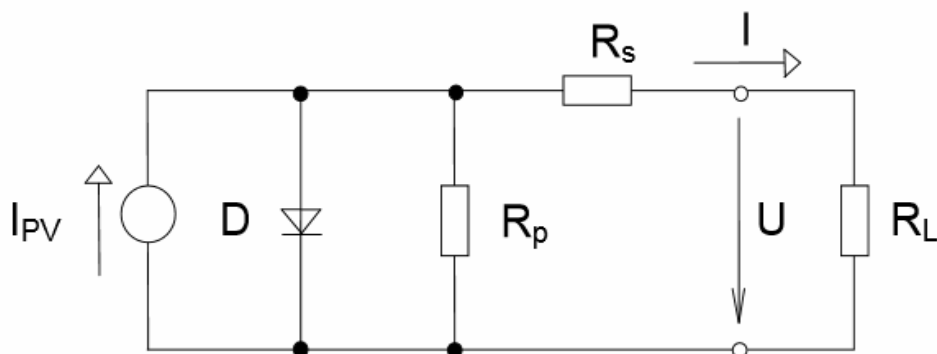
- Interakce s vázanými elektrony - dochází k uvolnění vazebního elektronu
- Interakce s volnými elektrony - dochází pouze ke zvyšování teploty článku
- Interakce částice s mřížkou - dochází pouze ke zvyšování teploty článku

Pro funkci fotovoltaického článku je nezbytný první typ interakce - s vázanými elektrony. Foton světelného záření uvolní v látce vázaný elektron a vznikne pár elektron - díra. Aby nedocházelo k okamžité rekombinaci, využívá se zde polovodičových materiálů. Ty mají odděleny elektrony a díry vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Mezi vrstvou P a N dochází k rozdílu potenciálů, a tedy i přítomnosti elektrického napětí. Velikost napětí je u jednoho článku cca 0,5 V. Pomocí vhodných elektrod lze toto napětí vyvést na vnější obvod.



Obr. 2-6 Struktura křemíkového článku [3]

Fotovoltaický článek a jeho parametry je možno zakreslit pomocí náhradního schéma, znázorněného na Obr. 2-7.



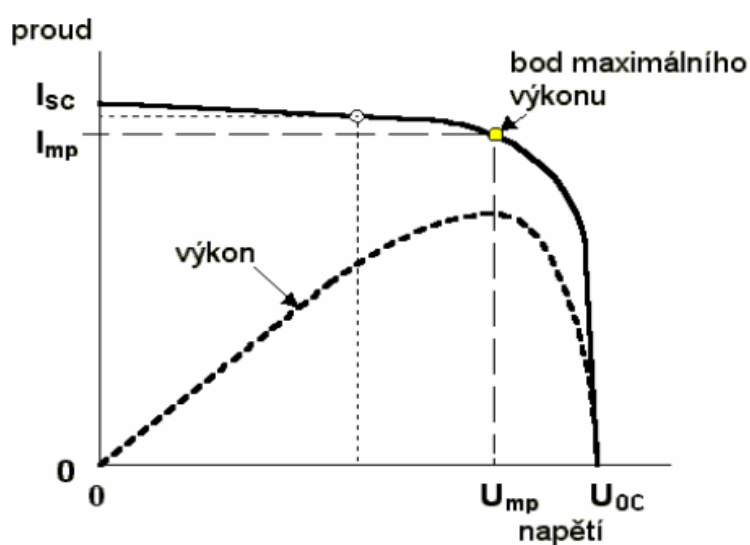
Obr. 2-7 Náhradní schéma fotovoltaického článku [4]

Základním požadavkem u fotovoltaického článku je dosažení maximálního proudu  $I_{PV}$ . Toho lze dosáhnout zajištěním maximální generace nosičů v daném objemu článku, jejich sběrem PN přechodem a minimalizací rekombinace jak v celém objemu článku, tak na jeho povrchu.

Dalším parametrem je zde svodový odpor  $R_p$ , který reprezentuje technologické nedostatky (mikrosvody) PN přechodu. Čím je PN přechod dokonalejší, tím je  $R_p$  vyšší.

Cílem je také dosažení co možná nejnižšího sériového odporu  $R_s$ , který reprezentuje vliv odporu materiálu a proudových sběrnic. Minimalizaci elektrických ztrát lze dosáhnout optimalizací proudových sběrnic, spolu s maximalizací účinné plochy článku.

Výstupní napětí  $U$  na fotovoltaickém článku je oproti napětí na diodě nižší o úbytek napětí na sériovém odporu  $R_s$ . Tento odpor také snižuje výsledný výstupní proud článku a jeho účinnost. Typická V-A charakteristika fotovoltaického článku je znázorněna na Obr. 2-8.



Obr. 2-8 V-A charakteristika fotovoltaického článku [3]



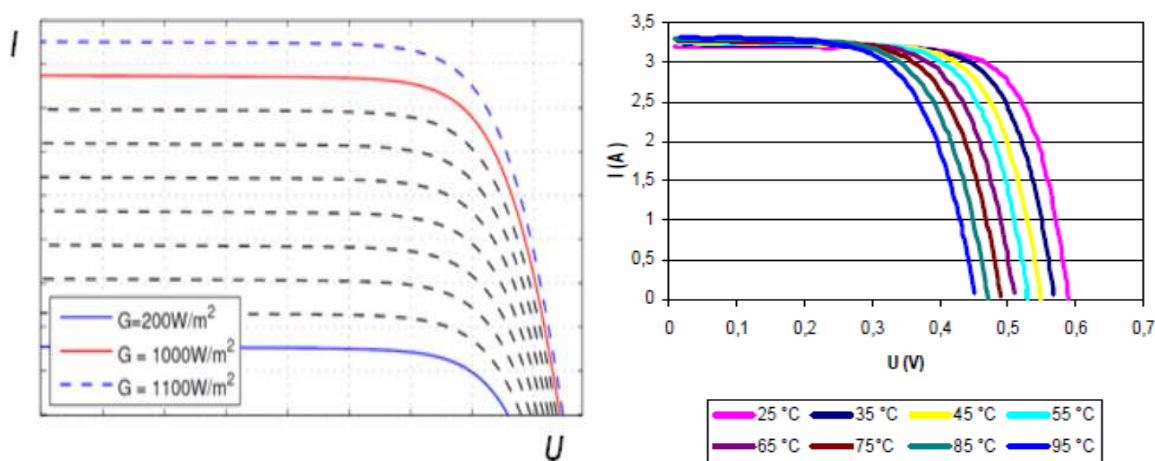
Maximální hodnotu proudu představuje tzv. zkratový proud  $I_{SC}$ , který může fotovoltaický článek dodávat při dané intenzitě záření. Dalším limitním bodem V-A charakteristiky je napětí naprázdno  $U_{OC}$ , které představuje napětí na článku bez připojené zátěže (spotřebiče). Výkon solárního článku je dán součinem napětí a proudu na článku.

Každý vyrobený solární článek má svůj vlastní pracovní bod na V-A charakteristice, kde má největší výkon. Tento bod se značí jako bod maximálního výkonu (MPP), který definuje hodnota napětí  $U_{mp}$  a hodnota proudu  $I_{mp}$ . Z hlediska aplikace fotovoltaických článků je doporučováno, aby se pracovní podmínky obvodu pohybovaly kolem bodu MPP. V tomto bodě dosahují solární články optimálního využití slunečního záření. S použitím známých parametrů z V-A charakteristiky solárního článku je možno vypočítat hodnotící parametr, nazývaný fill-factor (faktor naplnění), určený dle vztahu (1):

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (1)$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že fill-factor je poměr maximálního výkonu ku součinu napětí naprázdno a proudu nakrátko. Udává tedy efektivitu měřeného solárního článku. S touto efektivitou souvisí také účinnost solárního článku, která udává, kolik elektrické energie je schopen solární článek přeměnit z určitého množství dopadajícího světla.

Výkon solárního článku závisí na teplotě, intenzitě záření a na spektru světla. Parametry článku se určují za jednotných, standardizovaných testovacích podmínek. Teplota je zde  $25^\circ\text{C}$ , intenzita záření  $1000\text{ W/m}^2$  a světelné spektrum AM 1,5 (denní světlo). V reálném venkovním provozu dochází jak ke změnám teploty, tak ke kolísání intenzity záření. Tyto změny mají zásadní vliv na výslednou V-A charakteristiku solárního článku, viz. Obr. 2-9.



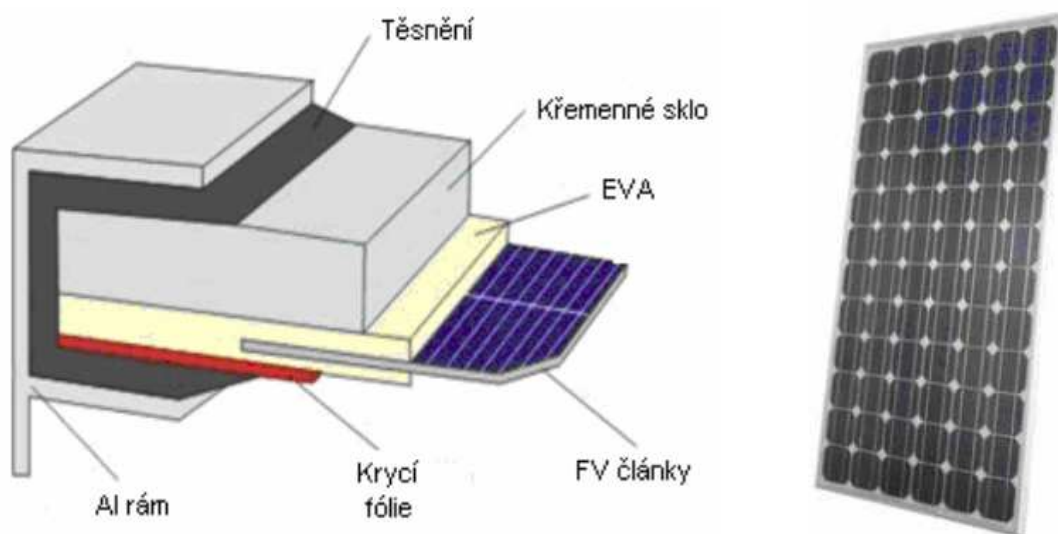
Obr. 2-9 Vliv intenzity záření na V-A char. článku; Vliv teploty na V-A char. článku [5]

Z těchto charakteristik je zřejmé, že změna záření má zásadní vliv na zkratový proud  $I_{SC}$  a změna teploty má vliv na napětí naprázdno  $U_{OC}$ . U křemíkových solárních článků obecně platí, že se zvýšením teploty o  $1^\circ\text{C}$  klesne výkon článku o  $0,5\%$ .

Jak bylo řečeno, samotný fotovoltaický článek má napětí cca 0,5 V. Pro reálné použití je tedy nutné jejich vzájemné sériové spojení do baterií, které se dále propojují paralelně. Tímto postupem vznikají fotovoltaické moduly, resp. fotovoltaické panely. Výstupní napětí takových panelů je obvykle 12 V nebo 24 V. Z hlediska praktického použití jsou na tyto celky kladeny další požadavky, a to především:

- pracovní rozsah teplot -40 až +85 °C
- elektrická pevnost >600 V (systémové napětí)
- odolnost proti vnějším vlivům - větru, dešti, krupobití, sněhu, vlhkosti aj.
- vysoká životnost (20 - 30 let)

Na Obr. 2-10 je v řezu znázorněno mechanické složení běžného fotovoltaického panelu. Ten je tvořen vzájemně propojenými články, které jsou překryté vysoce průhlednou EVA fólií. Mechanickou odolnost zajišťuje speciální tvrzené křemenné sklo. Obě tyto vrstvy musí být zhotoveny tak, aby propouštěly co nejvíce světla na fotovoltaický článek. Výběr materiálů a jejich kvalita má zásadní vliv na účinnost fotovoltaického panelu v průběhu jeho stárnutí. Zadní strana se uzavře skleněnou destičkou, případně plastovou fólií. Celý tento celek se následně usadí do rámu a prostor mezi skly se utěsní.



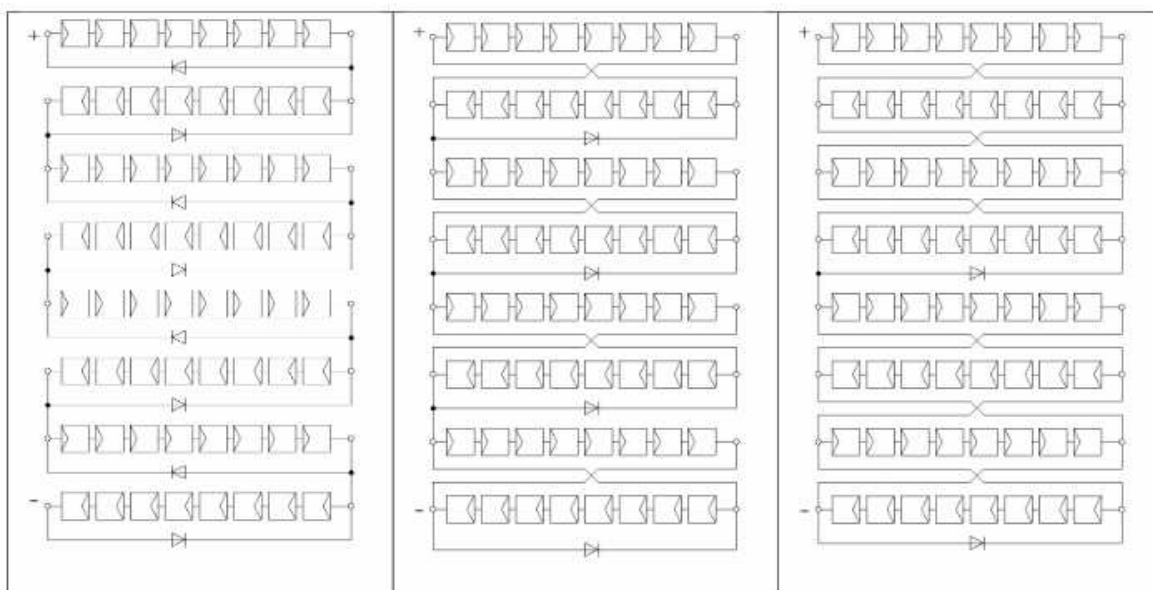
**Obr. 2-10** Mechanická konstrukce FV panelu; Monokrystalický FV panel [3]

V dnešní době se jedná se o nejrozšířenější typ fotovoltaických panelů. Velkou nevýhodou je zde náročnost na výrobu, cena a celková hmotnost, která znemožňuje montáž na některé stávající střechy. Jednotlivé panely se vyrábí o výkonech od jednotek wattů až do cca 200 W. Tento výkon se udává jako maximální možný dosažitelný, a to při osvětlení 1000 W/m<sup>2</sup>. Z toho vyplývá výsledné značení výkonů Wp (watt-peak), resp. kWp (kilowatt-peak). Je-li třeba vyšších výkonů, jednotlivé panely se mezi sebou propojí podle potřeby sériově a paralelně. Takto vzniklé fotovoltaické pole by mělo být tvořeno panely stejných typů a parametrů.

Z hlediska účinnosti fotovoltaických panelů je velmi důležitý typ propojení článků v panelech. Za účelem zvýšení napětí se solární články zapojují sériově. Tím ovšem dochází ke zvyšování sériového odporu  $R_s$  a k rozptylu bodu maximálního výkonu (MPP), vlivem odlišných hodnot  $U_{mp}$  a  $I_{mp}$  jednotlivých článků. Pro dosažení nízkého rozptylu MPP musí být při výrobě vybírány vždy podobné solární články pro jednotlivé fotovoltaické panely.

Vlivem sériového propojení článků v panelu dochází během reálného provozu k dalším problémům. V případě částečného zastínění článku, nebo jeho poruchy, dochází k deformaci V-A charakteristiky a výkon panelu prudce klesá. Vlivem sériového zapojení protéká všemi články v panelu stejný proud. Nefunkční články ovšem pracují s vyšším proudem (vyšším než proud nakrátko) a stávají se spotřebičem. Dochází tak nejen ke snižování výkonu fotovoltaického panelu, ale také k lokálnímu přehřívání a zkracování jeho životnosti.

Tyto nenadálé situace lze odstranit použitím překlenovacích (bypass) diod. Ideálně by tedy měl každý solární článek svou bypass diodu, která ho v případě potřeby automaticky přemostí. Vlivem úbytku napětí na těchto diodách se ale jejich počet omezuje tak, že vždy 1 dioda přemostí určitou sekci panelu. V případě výpadku či zastínění článku tedy dojde k odpojení příslušné větve, ve které se daný článek nachází. Příklady zapojování bypass diod ve fotovoltaickém panelu je znázorněn na Obr. 2-11.



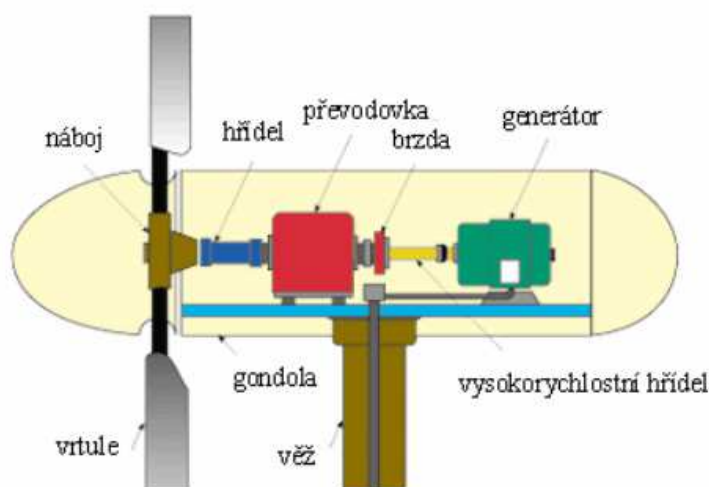
**Obr. 2-11** Příklady zapojení bypass diod v panelu [6]

K výrobě fotovoltaických panelů s tímto typem solárních článků je potřeba vysoce čistý křemík, který je poměrně drahý. Pro další vývoj fotovoltaiky je nezbytné snížení výrobních nákladů. Jedním z řešení je vývoj tenkovrstvých (fóliových) solárních článků, které je možné přímo pokládat na různé povrchy. V současné době mají tyto tenkovrstvé články kromě nižší hmotnosti a ceny také své nevýhody, a to především nižší účinnost (cca 10 %) a životnost (10 let). Mezi další alternativy ve stádiu výzkumu a vývoje patří solární články z organických polovodičů, které by v budoucnu měly snížit výrobní náklady.

## 2.2.2 Malá větrná elektrárna

Větrná energie je důsledkem pohybu vzduchu, který vlivem zahřívání mění svou specifickou hmotnost. Tuto energii lze za určitých podmínek využívat po celý den. Podstatnou nevýhodou je zde kolísání intenzity proudění vzduchu. Pro optimální využití je tedy výběr vhodného místa nezbytný.

K optimálnímu využití síly větru se používají různé typy rotorů. Liší se umístěním, tvarem, počtem a velikostí lopatek. Větrné elektrárny se mohou dále dělit podle rychlosti rotace na rychloběžné a pomaloběžné. Osa rotace může být jak v horizontální, tak ve vertikální poloze. Detail gondoly standardní větrné elektrárny s horizontální osou rotace lze vidět na Obr. 2-12.



Obr. 2-12 Detail gondoly malé větrné elektrárny [7]

Oproti klasickým větrným elektrárnám se malá větrná elektrárna (MVE) liší především v účelu použití a ve výkonech. Jsou primárně určeny pro montáž v blízkosti obydlí, bez nutnosti připojení na distribuční síť. Výkony standardních MVE se pohybují v rozmezí cca 1 - 10 kW. Zvláštní kategorií MVE pro malé off-grid aplikace tvoří tzv. mikroelektrárny s výkony do 1 kW.

Nejdůležitějším kritériem pro výběr vhodného typu větrné elektrárny jsou větrné poměry v místě instalace. Ty je nejvhodnější zjistit měření v daném místě, a podle hodnot určit vhodný typ MVE. Základním parametrem je zde minimální rychlost větru, potřebná pro chod MVE. Ta se u standardních vrtulových typů pohybuje kolem 3 m/s, u speciálních typů to může být i méně. Právě malá rychlost větru a jeho změny směru, obzvláště v městských zastavěných částech, mohou být pro MVE standardní konstrukce problematické. Z tohoto důvodu se trh v poslední době rozšířil o nejrůznější alternativní konstrukce větrných elektráren, které jsou v městských podmínkách schopny pracovat efektivněji.

Typickým zástupcem nejvýkonnějších typů MVE je modelová řada Aircon, která se vyrábí ve výkonech 5 - 10 kW. Tento typ je vhodný pro uživatele s velkou spotřebou energie. Případné přebytky energie lze využít pro vytápění, nebo pro dobíjení akumulátorů. Model Aircon 10S disponující nominálním výkonem 10 kW lze vidět na Obr. 2-13.



**Obr. 2-13** Aircon 10S; WB Windkraftanlagen; AeroCraft 240 [8]

Střední výkonovou třídu MVE zastupují turbíny typu WB Windkraftanlagen, konstruované ve výkonovém rozsahu 1,5 - 5,5 kW. Nejen že jsou velmi tiché, ale mohou pracovat již od rychlosti 1,8 m/s. Svými vlastnostmi jsou tedy velmi vhodné pro hustěji obydlené oblasti.

Nejnižší výkonovou třídu tzv. mikroelektárny dodává firma AeroCraft se svými modely o výkonech 120 - 500 W. Na Obr. 2-13 lze vidět model AeroCraft 240 v hybridním provozu. Tento způsob kombinace dvou obnovitelných zdrojů elektrické energie je velice výhodný pro rovnoměrnější dodávku elektrické energie po celý den.



**Obr. 2-14** Speciální mikroelektárny typu Energy Ball; hybridní turbína Darrieus / Savonius [9]

Na Obr. 2-14 lze vidět další alternativní konstrukce větrných turbín, vhodných především do městské zástavby. I přes nesporné výhody těchto turbín, jako je např. velmi tichý provoz, vysoká účinnost a chod i při malém větru, brání rychlejšímu rozšíření podstatně vyšší pořizovací náklady oproti standardním (horizontálním) turbínám o stejném výkonu.



### 2.2.3 Elektrocentrála

Další zdroj elektrické energie v Off-GRID systémech tvoří elektrocentrála. Narozdíl od fotovoltaických panelů, případně malé větrné elektrárny nevyrábí elektrickou energii samovolně z obnovitelných zdrojů, nýbrž spalováním pohonných hmot. Jedná se tedy o záložní zdroj, který je v provozu pouze v nezbytných případech.

Tento záložní zdroj elektrické energie je nezbytný téměř u všech Off-GRID systémů, nehledě na jejich velikost. Liší se pouze potřebným výkonem, který je schopna elektrocentrála dodat. Výjimku mohou tvořit pouze malé ostrovní systémy s několika solárními panely a malou kapacitou baterií, typické pro sezónní víkendové objekty (chaty). Z ekonomického hlediska je výhodnější použít místo elektrocentrály dodatečnou plně nabitou baterii, která se dočasně zapojí do systému. Pro víkendové potřeby je toto řešení mnohdy dostačující.

Vhodným návrhem ostrovního systému bude elektrocentrála po většinu roku plnit pouze funkci záložního zdroje, který je schopen zastoupit funkci zdroje elektrické energie v případě nepříznivého počasí. V zimním období, kdy zisk z fotovoltaického systému bude minimální, budou požadavky na provoz elektrocentrály mnohem vyšší. Od toho se následně odvíjí její požadované parametry.

Jeden z nejdůležitějších parametrů při výběru vhodné elektrocentrály je její maximální a provozní výkon. Ten se volí podle velikosti ostrovního systému, aby byla schopna v případě poruchy fotovoltaického systému dodat potřebný výkon. Na výběr jsou modely s výkony od 700 W výše, určené pro nejrůznější použití. Mezi ty základní patří model SG950, viz. Obr. 2-15.



**Obr. 2-15** Elektrocentrála SG950 (max. 720 W); Honda EM 30 K2 F (max. 3 kW) [10]

Mezi pokročilejší elektrocentrály patří model Honda EM 30 K2 F. Oproti vyššímu výkonu se dále liší v mnoha parametrech, jako například elektrickým zapalováním, nižší spotřebou paliva, samostatným výstupem na 12 V DC a špičkovou kvalitou elektrické energie, schopnou napájet i velmi citlivé spotřebiče.

## 2.2.4 Solární regulátor, MPPT měnič

Stěžejní část každého Off-GRID systému tvoří solární regulátor. V podstatě se jedná o napěťový regulátor a nabíječku baterií v jednom. Úprava a stabilizace napětí ze solárních panelů je nezbytná pro optimální dobíjení připojených akumulátorů. Jakmile jsou akumulátory nabitě, odpojí je od solárních panelů, aby nedocházelo k přebíjení a snižování jejich životnosti. Následně kontroluje stav akumulátorů a udržuje jejich nabití na optimální hodnotě. Pokud napětí na solárních panelech poklesne pod minimální hodnotu, kterou už solární regulátor nedokáže efektivně nabíjet akumulátory, dochází opět k jejich odpojení.

Kromě těchto základních ochranných funkcí disponují moderní solární regulátory mnoha dalšími funkcemi a nastaveními, jako jsou například optimalizace nabíjení s ohledem na daný typ akumulátoru, zobrazení dodané energie, automatické zapnutí spotřebiče při přebytku energie, ochrana proti hlubokému vybití akumulátorů, atd.

Volba vhodného solárního regulátoru je odvíjí od jeho požadovaných parametrů. Mezi ty základní patří nominální napětí regulátoru a maximální hodnota proudu, se kterou bude schopen pracovat. Podle zvoleného systémového napětí 12V nebo 24V DC se zvolí odpovídající solární regulátor a baterie. Maximální hodnota proudu regulátoru musí být vyšší, než jakou je schopen solární systém dodat. Při výběru regulátoru je dále nutné znát nominální napětí solárních panelů, na které je daný solární regulátor navržen.



**Obr. 2-16** Solární regulátor CARSPA CS1212 12 V / 12 A [11]

Průměrná účinnost těchto solárních regulátorů se reálně pohybuje pouze okolo 80 %. To je dáno nejen účinností vnitřních součástek, ale především omezenou schopností regulace výkonu ze solárních panelů. Problematické jsou především tyto dva stavy:

- Ztráty v období vysoké intenzity slunečního svitu: - nabíjecí proud baterií není nikdy vyšší než proud ze solárních panelů (regulátor nepracuje efektivně s dodaným napětím)
- Ztráty v období velmi nízké intenzity slunečního svitu: - výstupní napětí solárních panelů je nižší než minimální napětí pro dobíjení akumulátorů (baterie se nedobíjí)

Tyto nevýhody solárních regulátorů lze odstranit použitím technologicky pokročilejšího MPPT měniče. Ten se na první pohled od obyčejného solárního regulátoru nemusí tolik lišit. Většina vstupů, výstupů, ochran, funkcí a nastavení je obdobná. Stejně jako u solárních regulátorů bude úroveň nastavení a funkcí záležet na ceně daného zařízení.

Základní rozdíl je u MPPT měniče v použití vysokofrekvenčního DC - DC měniče. Ten vstupní napětí přemění na vysokofrekvenční střídavé napětí, transformuje jej na potřebnou hodnotu a následně ho opět usměrní. Dochází tedy k efektivnější přeměně výkonu solárních panelů na dané systémové napětí 12 V, 24 V nebo 48 V DC.

S transformací napětí souvisí také fakt, že MPPT měnič neztrácí účinnost při vysoké nebo nízké intenzitě slunečního svitu. To je dáno širokým rozsahem vstupního pracovního napětí měniče, které se může pohybovat v rozsahu 12 V - 150 V DC.

Vyspělé MPPT měniče (viz. *Obr. 2-17*) disponují kromě připojení k PC přes sériový port nebo USB port také síťovým připojením. V rámci lokální sítě nebo prostřednictvím internetu se lze přes webové rozhraní přihlásit do administrace požadovaného MPPT měniče. Zde lze vzdáleně sledovat nejen aktuální stav fotovoltaického systému, ale také lze nahlédnout do grafů a dlouhodobých statistik výroby a funkce fotovoltaického systému. Stejně tak je možné vzdáleně provádět i změny v nastavení.



*Obr. 2-17 MPPT tracer 2215RN (20 A / 150 V) [12]*

Reálná účinnost těchto MPPT měničů se pohybuje okolo 95 %. To je dáno použitou technologií přeměny elektrické energie, kdy je výstupní výkonová charakteristika daleko vyrovnanější vůči vstupní výkonové charakteristice, než jak je tomu u solárních regulátorů.

I přes vyšší cenu se pro aplikace v Off-GRID systémech použití MPPT měničů jednoznačně vyplatí, obzvláště během celoročního provozu. Kromě velmi vysoké účinnosti dokáže také zajistit přeměnu velmi malých výkonů během nízké intenzity slunečního svitu.



## 2.2.5 Měníč napětí

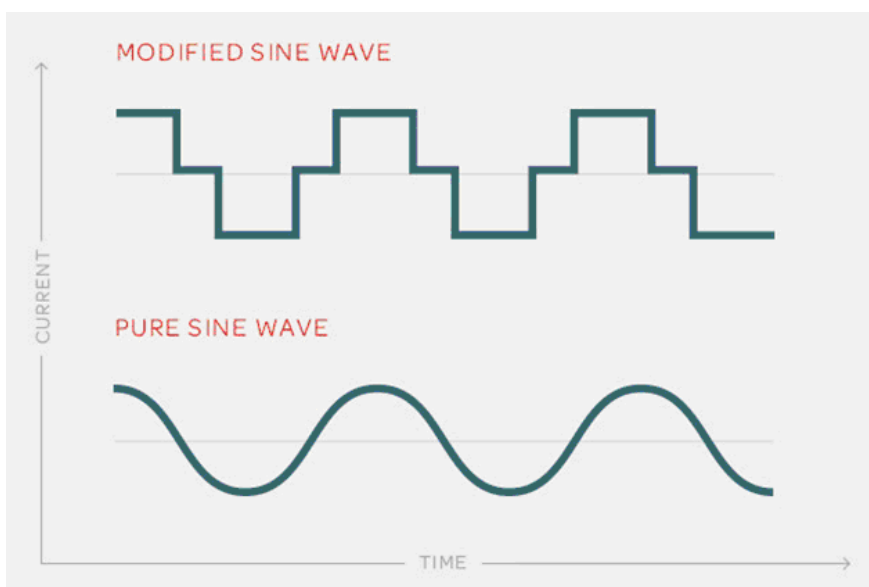
Měníč napětí je zařízení, které dokáže přeměnit elektrickou energii určitých parametrů na elektrickou energii požadovaných parametrů. V případě Off-GRID systému přeměňuje stejnosměrné systémové napětí na střídavé síťové napětí 230 V. S těmito parametry elektrické energie lze dále napájet všechny standardní elektrické spotřebiče v domácnosti, jako je tomu u běžné elektrické přípojky z distribuční sítě.

V Off-GRID systémech se měniče napětí v zásadě dělí podle několika základních parametrů. Jedním z nich je velikost vstupního napětí. To se stanoví především s ohledem na celkový výkon ostrovního systému, kdy se pro menší a střední instalace volí napětí 12 V nebo 24 V DC, a pro ty větší napětí 48 V DC. Na tuto hladinu napětí musí být zapojeny také baterie. S ohledem na tuto skutečnost je nezbytné, aby byl měnič napětí schopen pracovat v určitém napětíovém rozsahu:

- Baterie 12 V DC: - napětíový rozsah měniče zpravidla 10 V až 16 V DC
- Baterie 24 V DC: - napětíový rozsah měniče zpravidla 20 V až 32 V DC
- Baterie 48 V DC: - napětíový rozsah měniče zpravidla 42 V až 62 V DC

Pokud je to s ohledem na správnou funkci Off-GRID systému možné, preferuje se vždy vyšší hladina napětí, a to především kvůli menším ztrátám v DC části Off-GRID systému, které by snižovaly jeho celkovou účinnost.

Dalším důležitým parametrem měniče napětí je kvalita elektrické energie na jeho výstupu. Ta může být dvojího typu, a liší se "sinusovým" tvarem napětíového výstupu - viz. Obr. 2-18.



**Obr. 2-18** Typy průběhů na výstupu měniče - modifikovaná sinusovka, čistá sinusovka [13]

Prvním typem je měnič napětí s modifikovanou sinusovkou (viz. Obr. 2-19). Výstup takového měniče napětí netvoří standardní "čistá" sinusovka, ale tzv. modifikovaná sinusovka.

Většině spotřebičů tento nedokonalý průběh výstupního napětí nečiní žádné problémy. Problémy ale mohou nastat u některých citlivých elektronických zařízení, případně elektrických motorů, které mohou vykazovat během chodu vyšší vibrace a hlučnost. Výhodou je zde podstatně nižší pořizovací cena oproti měniči s čistou sinusovkou.

Druhým typem je již zmíněný měnič napětí s čistou sinusovkou. Jak z názvu vyplývá, sinusovka výstupního napětí má téměř dokonalý tvar. Volba tohoto typu měniče je vhodná pro bezproblémové napájení všech typů spotřebičů, včetně citlivých elektronických zařízení. Jelikož většina moderních spotřebičů je řízena právě pokročilými elektronickými prvky, je vhodné v případě Off-GRID systému zvážit volbu tohoto typu měniče, a to i přes 2x až 3x vyšší pořizovací cenu, než jakou má měnič s modifikovanou sinusovkou se shodným výstupním výkonem od stejného výrobce.



**Obr. 2-19** Měnič napětí CarSpa CAR500U-242 500 W; CarSpa P2000-242 2000 W SINUS [14]

Stěžejním parametrem všech měničů napětí je jejich výstupní výkon. Ten se dělí na trvalý výkon a špičkový výkon měniče. Trvalý výkon měniče je maximální výkon, který je možné odebrat z měniče po delší dobu. Tento štitkový údaj platí pouze při dodržení specifických podmínek, jako je např. okolní teplota vzduchu. S rostoucí okolní teplotou se trvalý výkon měniče snižuje.

Oproti tomu špičkový výkon měniče je takový výkon, který je schopen měnič dodat pouze po dobu několika stovek milisekund. Lze jej tedy využít po velmi omezenou dobu, především pro spouštění elektronických zařízení, u kterých je napěťová špička velmi krátká. S tímto výkonem většinou nelze počítat pro rozběhy motorů, čerpadel a kompresorů, kde je jejich rozběhová doba relativně dlouhá.

Správné dimenzování výstupního výkonu měniče se tedy provádí s ohledem na typy připojených spotřebičů a jejich specifické požadavky na rozběh. Během nonstop provozu by trvalý příkon spotřebičů neměl přesáhnout 60% trvalého výkonu měniče. Účinnost měničů napětí se pohybuje v rozmezí 85 % - 95 %.

## 2.2.6 Akumulátory

Akumulátor je zařízení určené pro opakované uchovávání elektrické energie. Aby mohl akumulátor sloužit jako zdroj elektrické energie, je potřeba ho nejprve nabít. Běžné typy akumulátorů pracují na elektrochemickém principu. Elektrická energie se v akumulátoru přemění na energii chemickou, kterou je možno přeměnit zpět na elektrickou energii.

Elektrických akumulátorů existuje na trhu velké množství. Liší se mezi sebou především principem ukládání energie, účelem použití, kapacitou, tvarem, velikostí, hmotností a životností. Jako zdroj elektrické energie se v Off-GRID systémech používá nejčastěji olověných akumulátorů v různých provedeních. Použít se dají jak obyčejné startovací akumulátory, tak trakční akumulátory. Oba tyto typy jsou dále k dispozici ve verzích jako údržbové akumulátory (se zaplavenými elektrodami), a bezúdržbové (VRLA). Relativně novým typem akumulátoru vhodným pro nejrůznější použití je akumulátor  $\text{LiFePO}_4$ .

### ➤ Klasické akumulátory (se zaplavenými elektrodami)

Jedná se o levný typ akumulátorů, který vyžaduje určitou údržbu. Typickým příkladem je klasická autobaterie. Tento typ akumulátoru musí být navržen tak, aby se plyny vzniklé při elektrolýze nehromadily uvnitř akumulátoru, ale mohly unikat do jeho okolí. Důsledkem toho je postupné snižování hladiny elektrolytu, která se musí čas od času doplňovat doléváním destilované vody.

Ideální pracovní cyklus klasické autobaterie tvoří nastartování auta (velmi vysoký startovací proud), následné rychlé dobíjení a udržování v nabitém stavu. Pro požadavky Off-GRID systému, jako jsou cyklické nabíjení / vybíjení a dlouhodobá akumulace energie je tento typ akumulátoru nejméně vhodný. Podstatně lepší volbou je trakční akumulátor, viz. Obr. 2-20.



*Obr. 2-20 Trakční baterie VARTA 12 V, 140 Ah [15]*

Oproti klasické autobaterii disponuje mnohem širším rozsahem využitelné kapacity, má mnohem nižší samovybíjení, delší životnost a mnohem lépe zvládá cyklický provoz. To vše při zhruba dvojnásobné ceně.

### ➤ Bezúdržbové akumulátory VRLA

Akumulátory v provedení VRLA jsou vyráběny s uzavřenou konstrukcí, díky které je vyloučen únik elektrolytu během provozu, naklonění, nebo při převržení akumulátoru. Kvůli regulaci pracovního tlaku uvnitř akumulátoru jsou vybaveny pouze bezpečnostním přetlakovým ventilem. Oproti klasickým akumulátorům nabízí podstatně lepší parametry pro podmínky Off-GRID provozu.

**AGM akumulátor:** Tekutý elektrolyt v tomto typu akumulátoru je nasáklý do speciálního skelného materiálu, který obklopuje mřížky akumulátoru (viz. Obr. 2-21). Tyto mřížky prokládané elektrolytem jsou zde těsně vedle sebe, a umožňují tak dodat z akumulátoru velký výkon. Kromě naprosté bezúdržbovosti patří mezi další výhody tohoto typu akumulátoru velká odolnost vůči nízkým teplotám, vyšší kapacita na jednotku hmotnosti, odolnost vůči otřesům, velmi malé samovybíjení a pomalejší degradace během hlubokého vybití.

**Gelový akumulátor:** Vnitřní uspořádání akumulátoru je z větší části shodné s klasickým akumulátorem. Hlavní rozdíl je zde pouze v elektrolytu, který je v akumulátoru uskladněn. Ten není ve standardní tekuté formě, nýbrž ve formě gelu. Stejně jako u AGM akumulátoru, platí i zde naprostá bezúdržbovost. Kromě stejných výhod, které nabízí AGM akumulátory, nabízí tento typ ještě lepší odolnost vůči hlubokému vybití, a ještě nižší samovybíjení.



Obr. 2-21 Řez AGM akumulátorem; Gelový akumulátor EXIDE 85 Ah [16]

S proměnlivou úrovní nabití akumulátorů souvisí také již zmíněné kolísání napětí, se kterým musí být schopen napěťový střídač pracovat. Při překročení kritické hladiny napětí musí dojít k signalizaci a odpojení baterií od zátěže, z důvodu poškození baterií vlivem hlubokého vybití. V Tab. 2-1 lze vidět orientační přehled úrovně nabití akumulátorů, s ohledem na napětí naprázdno. Tento napěťový průběh platí zhruba pro všechny klasické, AGM i gelové akumulátory.

Tab. 2-1 Orientační přehled stavu nabití akumulátoru

Úroveň nabití [%]	Napětí naprázdno [V]
0%	11,90V
5%	11,92V
10%	11,94V
15%	11,96V
20%	11,98V
25%	12,00V
30%	12,04V
35%	12,08V
40%	12,12V
45%	12,16V
50%	12,20V
55%	12,24V
60%	12,28V
65%	12,32V
70%	12,36V
75%	12,40V
80%	12,45V
85%	12,52V
90%	12,58V
95%	12,64V
100%	nad 12,70V

### ➤ Lithium-železo-fosfátový akumulátor (LiFePO<sub>4</sub>)

Oproti olověným akumulátorům je tento typ akumulátorů relativně nový. LiFePO<sub>4</sub> baterie využívá chemických reakcí s lithiem a sdílí mnoho vlastností s rozšířenými lithium - iontovými akumulátory. Mezi základní výhody patří:



- životnost 4000 - 8000 cyklů (pokles na 80% kapacity)
- schopnost dodat vysoký proud při špičkových odběrech
- téměř bez samovybíjení
- neobsahuje žádné toxické látky, žíraviny nebo kyseliny
- uzavřená konstrukce
- vynikající tepelná stabilita
- bezpečnost (nedochází ke vzniku nebezpečných plynů)
- vysoká kapacita na jednotku hmotnosti akumulátoru
- nemají paměťový efekt

Obr. 2-22 LFP článek 3,2 V; 40 Ah [17]

Nevýhodou tohoto typu akumulátoru je nutnost přídavné balancovací elektroniky pro správné nabíjení, která zvyšuje jeho celkovou cenu. Ta může být cca 2x vyšší oproti AGM nebo gelovým akumulátorům. Je tedy vhodnější spíše pro menší Off-GRID aplikace.

### 3 Technika pro jištění domovních instalací

Jištění domovních instalací tvoří základ každého domovního rozvodu elektrické energie. V elektrických rozvodech je třeba počítat s možným výskytem poruch, které mohou vznikat vlivem špatné funkce prvků v obvodu, stárnutím materiálů (izolace), atmosférickými vlivy, případně chybným zásahem člověka. Důsledkem toho mohou vznikat v sítích nízkého napětí stavy jako přetížení, přepětí nebo zkrat:

#### ➤ **Přetížení**

Přetížení vlivem nadproudu může způsobovat tepelné namáhání vodičů a izolace. Základním faktorem je u nadproudu jeho velikost a doba trvání. Krátkodobé zatěžování vyšším proudem nemusí být pro elektrický rozvod nutně nebezpečné. Ovšem při dlouhodobém přetížení vzniká nebezpečí právě z hlediska tepelného namáhání.

#### ➤ **Přepětí**

Přepětí v síti vzniká nejčastěji vlivem přechodných dějů v síti, případně jako důsledek atmosférických vlivů. Tyto napěťové špičky mohou být nebezpečné jak pro izolaci vodičů, tak pro samotné spotřebiče.

#### ➤ **Zkrat**

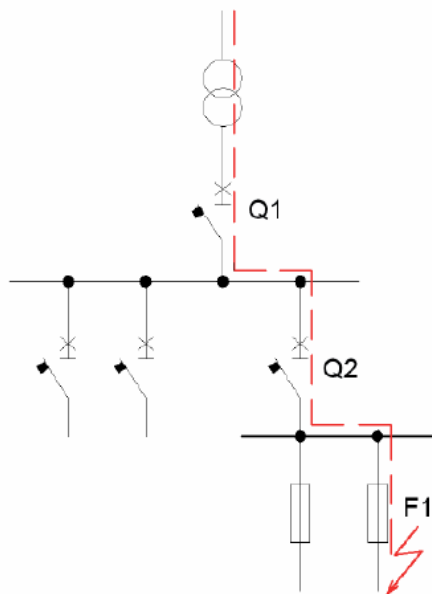
Jedná se o jednu z nejčastějších poruch v elektrickém rozvodu. Jedna z příčin vzniku zkratu může být právě dlouhodobé přetížení nebo přepětí v síti. Hodnoty zkratových proudů mohou nabývat až desetinásobných hodnot jmenovitých proudů. Dochází tedy nejen k extrémnímu tepelnému namáhání vodičů a elektrických zařízení, ale také k dynamickému namáhání konstrukčních prvků elektrického rozvodu.

Z těchto důvodů musí být elektrický rozvod vybaven soustavou ochran. Ty lze definovat jako nejslabší a nejcitlivější místa v obvodu, která dokážou odlišit provozní stav od stavu poruchového. V případě poruchového stavu pak musí ochrany zareagovat tak, aby došlo k odpojení poruchové části elektrického rozvodu.

Výběr a správné nastavení jistících prvků nemusí být snadné především z hlediska správného rozlišení provozních a poruchových stavů. Typickým příkladem může být například vysoký zapínací proud některých elektrických zařízení, který je ochranou vyhodnocen jako přetížení, a dochází k jejímu vybavení.

### 3.1 Selektivita ochran

S výběrem vhodných jistících prvků souvisí také jejich vhodné odstupňování (selektivita). Jelikož je elektrický obvod tvořen paprskovitě, je zde požadavek, aby při poruše došlo k odpojení co nejmenší části elektrické sítě, ve které se porucha nachází. Toho lze docílit odpojením postižené části elektrického rozvodu pomocí jistícího přístroje, který se nachází nejbližší místu poruchy (viz. *Obr. 3-1*). Pokud je v tomto případě nastavena selektivita správně, dochází k odpojení zkratu pouze pojistkou F1, a zbylé předřazené jistící prvky Q1 a Q2 zůstávají nadále sepnuty.



**Obr. 3-1** Selektivita ochran v obvodu

Specifické požadavky na selektivitu jištění vychází z elektrotechnických předpisů. Dle ČSN 33 2000-1 ed. 2 čl. 314 musí mít každá elektrická instalace členěny obvody do několika částí, a to zejména s cílem zamezit nebezpečí a omezit potíže v případě poruchy. Zjednodušeně lze říci, že porucha jednoho obvodu nesmí vyřadit zbylé obvody.

Další norma ČSN 33 200-4-473 upřesňuje umístění jistících prvků chránících před přetížením a zkratovými proudy. Ty se umísťují tam, kde dochází ke změnám materiálu vodičů, průřezu nebo typu jejich uložení takovým způsobem, který by znamenal snížení dovoleného proudu vodiče.

V praxi jsou hlavní obvody s větším průřezem vodičů jištěny na vyšší hodnotu jmenovitého proudu, než jak je tomu u podružných obvodů, které se jistí na nižší hodnotu jmenovitého proudu. Základní podmínkou tedy je, aby porucha na podružném obvodu nevyřadila z provozu ostatní podružné obvody, případně celý hlavní obvod.

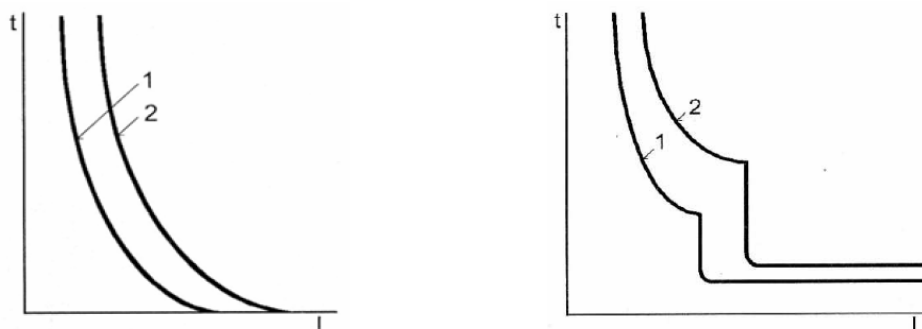


### 3.1.1 Úrovně selektivity

#### ➤ Plná selektivita

Jedná se o takovou selektivitu, kdy je zajištěno působení jistících prvků v celém rozsahu nadproudů, až po zkraty. V případě poruchy tedy vybaví vždy nejdříve jistící prvek, který je nejbližší poruchy, oproti předřazeným jistícím prvkům.

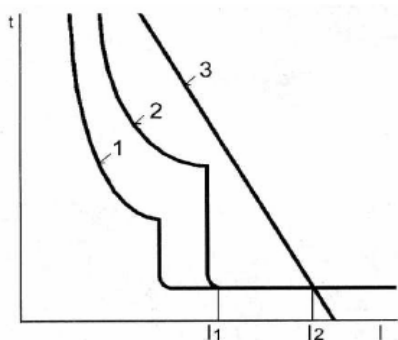
Pro zajištění plné selektivity mezi pojistkami musí být jejich vzájemné charakteristiky vhodně přiřazeny, jak může být patrné z Obr. 3-2. Charakteristika č. 1 odpovídá tavné pojistce koncového obvodu, charakteristika č. 2 patří naopak tavné pojistce hlavního obvodu, který se pro koncový obvod chová jako napájecí bod. Na první pohled je zřejmé, že jako první vždy zareaguje pojistka koncového obvodu. Pro dosažení plné selektivity mezi těmito dvěma pojistkami musí platit, aby si byly jejich charakteristiky co nejvíce podobné, se vzájemným odstupem alespoň 2 stupňů (z důvodu zamezení překrývání vlivem ochranných pásem).



**Obr. 3-2** Správná selektivita pojistek; Správná selektivita jističů (zpožděná zkratová spoušť)

Zajištění plné selektivity je u jističů o něco složitější. Jejich zkratové spouště dle normy reagují do 0,1 s. Pro dosažení plné selektivity je tedy nutné jejich odstupňování. Dle normy spadají jističe bez selektivity do kategorie A, selektivní jističe do kategorie B. Rozdíl mezi nimi lze názorně vidět na Obr. 3-2.

#### ➤ Částečná selektivita



**Obr. 3-3** Příklad jistících prvků

U tohoto typu není zajištěna selektivita v celém rozsahu nadproudů, ale pouze do jeho určité hodnoty. Tato hodnota se nazývá mez selektivity.

Pokud je jističům na Obr. 3-3 předřazena tavná pojistka, může nastat situace, kdy dojde v případě zkratu k vybavení všech tří jistících prvků najednou.



## 3.2 Jištění On-GRID systémů

Jak již z názvu vyplývá, jde o systémy napojené na distribuční síť. V současné době se jedná o jeden nejrozšířenějších druhů jištění. Využívá se jistících a ochranných prvků, kterých se na trhu nachází velké množství od různých výrobců. Mezi základní typy jistících zařízení pro tyto účely patří tavná pojistka, jistič a v dnešní době také běžně používaný proudový chránič.

Pojem On-GRID se také velmi často používá ve využívání energie z distribuční sítě spolu s energií dodávanou ze solárních panelů. Tento solární On-GRID systém má s ohledem na fotovoltaické panely umístěné na střeše budovy zvýšené nároky na jistící prvky, a to především kvůli značnému riziku přepětí vlivem úderu blesku.

### 3.2.1 Tavná pojistka

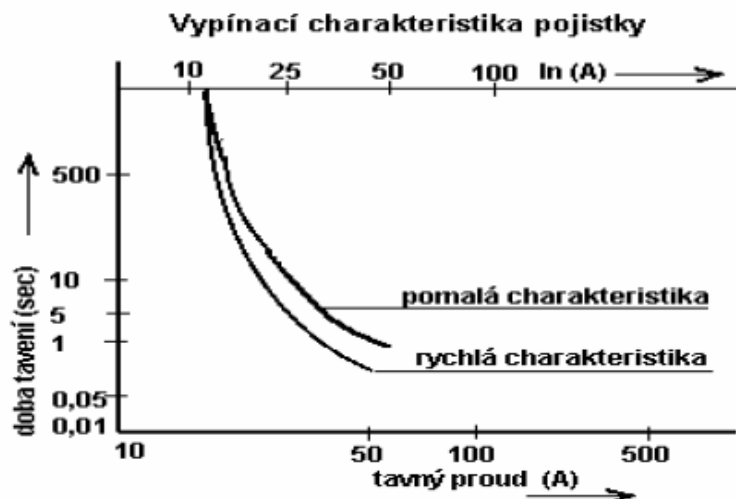
Tavná pojistka je nejstarším typem jistícího zařízení před nadměrnými proudy. Byla vyvinuta pro ochranu domovních rozvodů a elektrických distribučních sítí. Princip její funkce je velmi primitivní, ale zároveň velmi účinný. Uvnitř pojistky se nachází tavné vlákno s úmyslně zmenšeným průřezem, obklopené zhášecím materiálem (křemičitým pískem). Jedná se tak doslova o nejslabší místo daného elektrického obvodu. Vlivem nadměrných proudů nastává přetavení tavného vlákna a dochází k přerušení obvodu. K tomuto dochází dříve, než by nadměrný proud stihl poškodit zbylé části elektrického obvodu.

#### ➤ Základní parametry pojistky

- Jmenovitý proud  $I_N$  - hodnota proudu, který musí pojistka trvale snést
- Jmenovité napětí  $U_N$  - hodnota napětí, na které je daná pojistka vyrobena
- Krajní proud  $I_{KR}$  - mezní hodnota proudu, při které ještě nedochází k tavení pojistky
- Zkratový proud  $I_K$  - hodnota proudu v obvodu, který není jištěn pojistkou
- Vypínací schopnost  $I_V$  - hodnota proudu, kterou je schopna pojistka přerušit
- Předvídaný proud  $I_{pR}$  - efektivní hodnota ustáleného zkratového proudu
- Tavný proud  $I_{Tav}$  - hodnota proudu, který způsobí přetavení pojistky
- Tavná doba  $t_{tav}$  - je to doba, než dojde k zapálení oblouku
- Doba hoření oblouku  $t_{obl}$  - je to doba od zapálení oblouku po jeho uhašení
- Vypínací doba  $t_{vyp}$  - je to součet tavné doby a doby hoření oblouku

Zkratem vyvolané nadproudy dosahují velmi vysokých hodnot, které způsobí velmi rychlé přetavení pojistky. Oproti tomu nadproudy vzniklé přetížením přetaví pojistku za mnohem delší dobu.

Z těchto důvodů se pojistky rozlišují na 2 základní typy, a to pojistky proti zkratovým proudům (rychlé) a pojistky pro jištění motorů a jiných zařízení (pomalé). Vypínací charakteristiky těchto dvou základních typů lze vidět na Obr. 3-4.



Obr. 3-4 Vypínací charakteristika pojistky [18]

Každý typ pojistky má svou vlastní specifickou vypínací charakteristiku. Z Obr. 3-4 je zřejmé, že se jedná o závislost doby tavení na velikosti tavného proudu. Tvar této charakteristiky se odvíjí nejen od průřezu tavného vodiče, ale také od jeho tvaru a materiálu použitého k jeho výrobě (nejčastěji měď nebo stříbro). V Tab. 3-1 a Tab. 3-2 lze vidět přehled běžně používaných typů pojistkových vložek nízkého napětí a jejich značení.

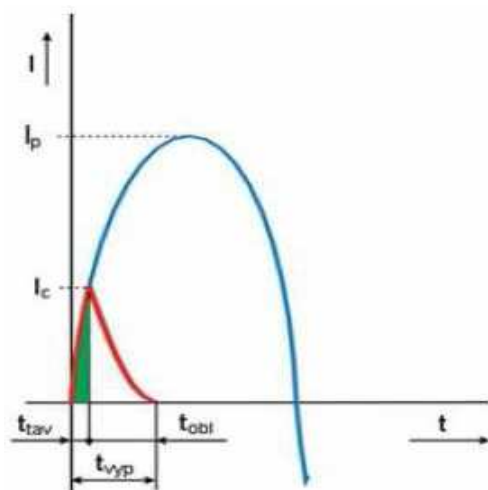
Tab. 3-1 Značení tavných pojistkových vložek nízkého napětí [19]

Funkční třída	Kategorie užití
g – jištění v celém rozsahu	G – všeobecné použití
	Tr – jištění transformátorů
	M – jištění motorů
a – vypíná pouze část nadproudů	R – jištění polovodičů
	L – jištění vedení
Příklad gG = pojistka pro jištění v celém rozsahu nadproudů k všeobecnému použití.	

Tab. 3-2 Značení přístrojových pojistek [19]

FF	superrychlé
F	rychlé
M	středně pomalé
T (nebo znak ulity)	pomalé
TT	super pomalé

Nejdůležitější vlastností pojistek, pro kterou jsou hojně využívány i v dnešní době je jejich omezovací schopnost. Velmi vysoký zkratový proud přetaví pojistku během tak krátké doby, než stihne zkratový proud dosáhnout své maximální hodnoty (viz. Obr. 3-5).



$I_p$  - špičková hodnota předvídáného proudu

$I_c$  - špičková hodnota omezeného proudu

$t_{tav}$  - doba tavení

$t_{obl}$  - doba hoření oblouku

$t_{vyp}$  - celková doba vypnutí

**Obr. 3-5** Omezovací charakteristika pojistky [20]

Omezovací charakteristika pojistky vyjadřuje závislost hodnoty omezeného proudu  $I_c$  na hodnotě předvídáného proudu  $I_p$ . Omezený proud  $I_c$  představuje špičkovou hodnotu proudu, kterou ještě pojistka propustí. S ohledem na typ pojistky je však tato hodnota vždy mnohonásobně nižší, než jaká je hodnota předvídáného proudu  $I_p$ .

### ➤ Dělení tavných pojistek dle konstrukce

Dle konstrukce lze pojistky dělit na závitové, nožové, válcové a přístrojové. Pro jištění domovních instalací a sítí nízkého napětí se používají první dva typy, přičemž každý se vyrábí v odlišném proudovém rozsahu.

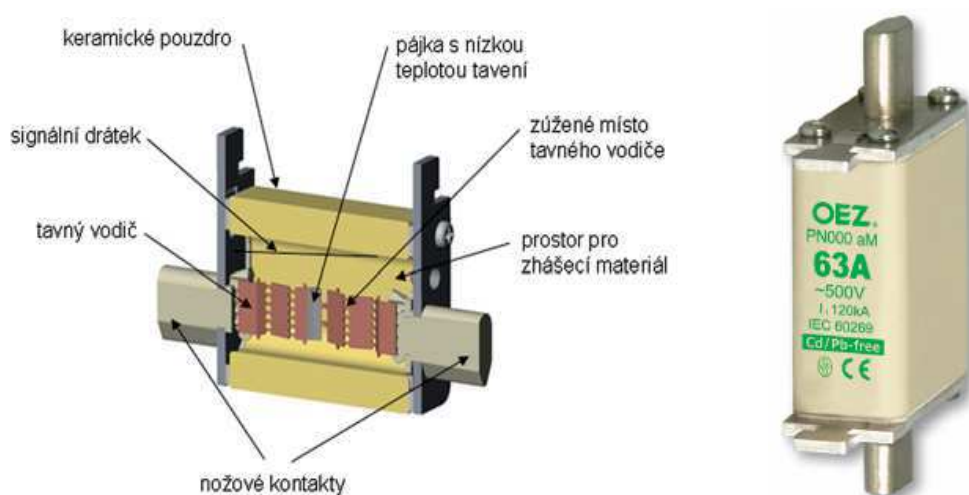
Závitové šroubovací pojistky se používají pro jištění domovních elektrických rozvodů, případně malých průmyslových budov. Konstrukce šroubovací pojistky se skládá z pevné patice, do které se zašroubuje pojistková hlavice spolu s tavnou pojistkovou vložkou (viz. Obr. 3-6).



**Obr. 3-6** Popis konstrukce závitové pojistky; Popis konstrukce pojistkové vložky [19]

Tento typ pojistek se vyrábí v rozsahu jmenovitých proudů  $I_N$  od 2 A do 80A . Pro snadnější orientaci má každá hodnota jmenovitého proudu  $I_N$  přidělenou jinou barvu, kterou je následně tavná pojistková vložka označena.

Druhým typem pojistky pro nízké napětí je nožová pojistka. Oproti šroubovacím pojistkám je tento typ určen pro rozsah vyšších vypínacích proudů. Patice se pro tento typ pojistky nazývá pojistkový spodek, který je vybaven dvěma kleštinami pro uchycení pojistky. Samotná pojistka je tvořena keramickým pouzdem, na který jsou ze dvou stran našroubovány kontakty, které připomínají tvar nože. Tyto kontakty jsou propojeny tavným plíškem nebo drátkem, jehož okolí je vyplněno zhašecím materiálem (křemičitým pískem). Názorný popis konstrukce tohoto typu pojistky lze vidět na *Obr. 3-7*.



*Obr. 3-7* Popis konstrukce nožové pojistky; Pojistka OEZ 63A aM [21]

### ➤ Výhody a nevýhody pojistek

Jedná se o jedny z nejjednodušších a nejspolehlivějších jisticích prvků na trhu. Nejen kvůli těmto vlastnostem jsou i v dnešní době v některých aplikacích stále lepší volbou oproti jističům. Mezi další výhody patří:

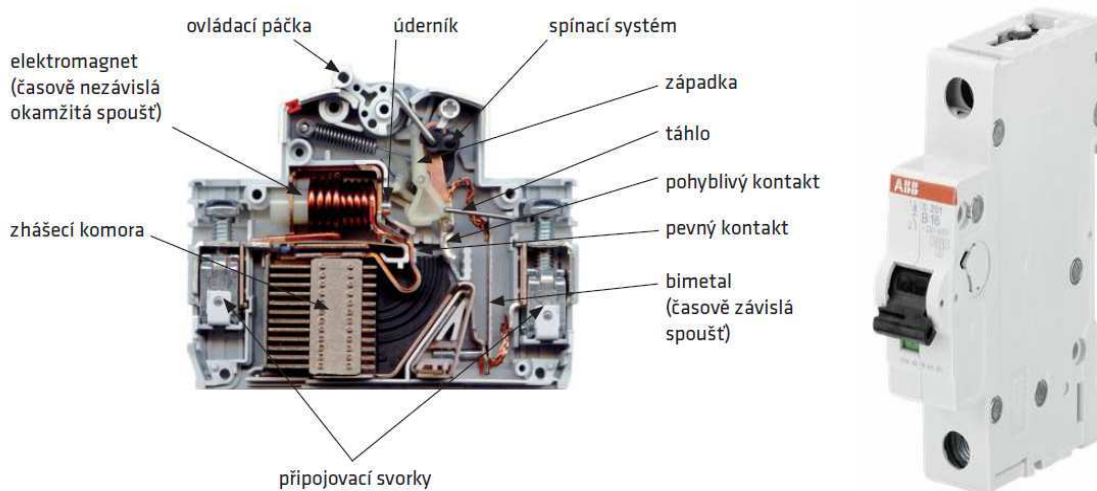
- Schopnost omezit zkratové proudy
- Vysoká dlouhodobá spolehlivost funkce daná jednoduchou konstrukcí
- Vysoká odolnost před poruchami a stárnutím
- Hospodárny provoz (malé vnitřní ztráty)
- Stálost vypínací charakteristiky pojistky při teplotních změnách
- Schopnost vypínání nadproudů ve velmi širokém rozsahu (podle typu pojistky)

Jedinou nevýhodou je potřeba výměny pojistkové vložky po každém jejím vybavení. Takto zničená pojistka se musí vyměnit za novou pojistku se shodnými parametry.

### 3.2.2 Jistič

Jedná se o elektrický jistící přístroj, který chrání elektrické obvody před účinky nadproudu, zkratu, případně podpětí. Svou funkcí v mnohých ohledech nahrazuje funkci pojistky a vypínače v jednom.

Standardní provozní poloha jističe je v poloze "zapnuto". V této poloze dochází k mechanickému sepnutí kontaktů a napnutí pružiny. Zámky (západky) jističí tuto polohu jsou napojeny na spouště uvnitř jističe. V této poloze jistič setrvává, dokud nenastane vybavení některé ze spouští. Tím dojde k uvolnění zámku (západky), napnutá pružina uvolní svou energii a nastane rozpojení obvodu (poloha "vypnuto"). Konstrukční uspořádání standardního jističe lze vidět na Obr. 3-8.



**Obr. 3-8** Popis konstrukce jističe; Jistič ABB S201-B 16A [22]

Standardně je jistič konstruován se dvěma typy spouští, které dovedou nezávisle na sobě rozpojit elektrický obvod. Menší dlouhodobé nadproudy jsou vypínány nadproudovou tepelnou (bimetalovou) spouští, přes kterou prochází trvale proud jištěného obvodu. K vybavení dojde pouze tehdy, překročí-li hodnota proudu po určitou dobu danou velikost. Vypínací charakteristika této spouště se velmi podobá vypínací charakteristice pojistky.

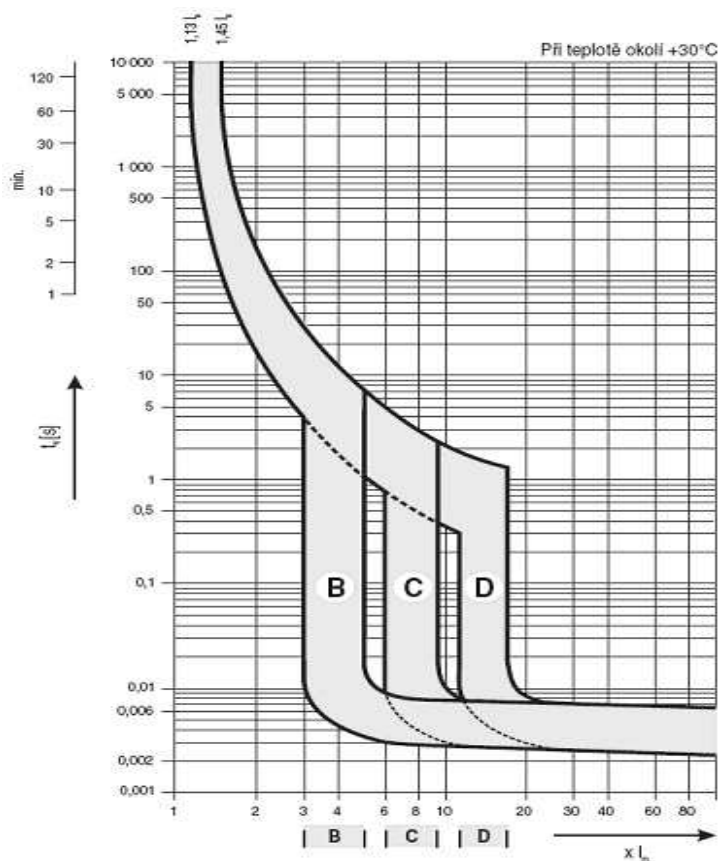
Při vysokých nadproudech (zkratech) naopak dochází k vybavení zkratové elektromagnetické spouště. U tohoto typu spouště je klíčová její rychlost, která je narozdíl od tepelné spouště skoková. Doba vybavení se v tomto případě pohybuje do 0,2 s. Tato skoková změna je patrná na vypínací charakteristice jističe (viz. Obr. 3-9) jako zlom.

Třetím doplňkovým typem může být podpětěová spoušť. Pokud dojde k poklesu napětí pod jmenovitou hodnotu o určitou velikost, dochází k odpadnutí kotvy od elektromagnetu vlivem sníženého tahu a následnému vybavení spouště.

### ➤ Dělení jističů dle vypínací charakteristiky

Podle typu jištěného zařízení existují na trhu jističe několika kategorií. Běžně se používají vypínací charakteristiky jističů třídy B, C a D. Tepelná část vypínací charakteristiky je u všech tříd stejná, rozdíl je pouze ve zkratové části charakteristiky, kde je patrné vzájemné odstupňování, viz. Obr. 3-9.

- Třída A - jistič polovodičů, velmi rychle vypíná již malé nadproudy
- Třída B - jistič vedení, použití pro jištění spotřebičů bez větších zapínacích rázů  
- jistič vypíná do 0,1 s při 3-5 násobku  $I_N$
- Třída C - jistič motorů, použití pro zapínací proudy do osminásobku  $I_N$   
- jistič vypíná do 0,1 s při 5-10 násobku  $I_N$
- Třída D - jistič zařízení s velkými zapínacími proudy (transformátory, motory)  
- jistič vypíná do 0,1 s při 10-20 násobku  $I_N$



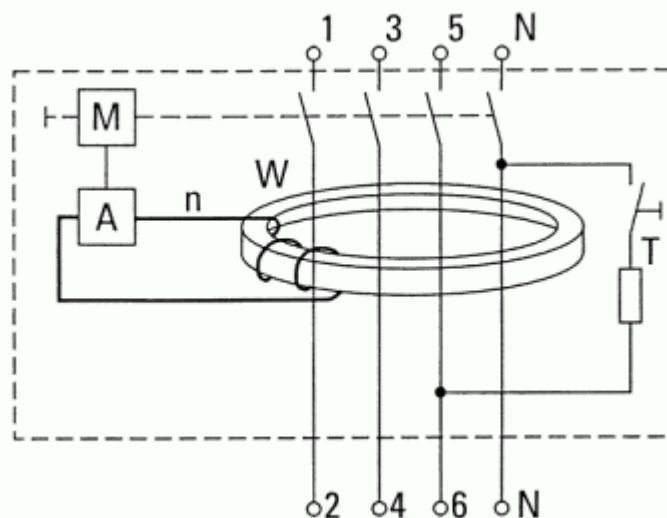
**Obr. 3-9** Vypínací charakteristika jističů třídy B, C a D [20]

Zásadní výhodou jističe je možnost opakovaného použití při jeho vybavení, a tak okamžitě obnovit funkci ochrany. Mohou být také vybaveny doplňkovými funkcemi, jako dálková správa, případně variabilní nastavování tepelné a zkratové spouště. Obecnou nevýhodou jističů je jejich menší zkratová odolnost v porovnání s pojistkou. Proto se v případě použití jističe vyžaduje použití doplňkové předřazené pojistky.

### 3.2.3 Proudový chránič

Jedná se o elektrické jisticí zařízení, které chrání před účinky elektrického proudu. Jedná se pouze o doplňkovou ochranu, která nedokáže nahradit funkci jističů nebo pojistek. Proudový chránič dokáže rozpojit elektrický obvod, pokud část protékajícího proudu přes chránič začne unikat mimo obvod, například při probíjení poškozené izolace nebo při dotyku člověka. Jedná se o velmi citlivé zařízení, které má pro domovní instalace předepsanou citlivost 30 mA.

Funkce této ochrany je založena na principu I. Kirchhoffova zákona. Základní část tvoří spínací mechanismus, citlivé relé a součtový transformátor, kterým prochází všechny pracovní vodiče (viz. Obr. 3-10). Ochranný vodič PE se do této ochrany nikdy zapojovat nesmí. Za standardních provozních podmínek je vektorový součet proudů v transformátoru roven nule, a magnetický tok transformátoru je tedy také nulový. Jakmile se v obvodu vyskytne porucha a část proudu je odváděna jinou cestou (např. přes ochranný vodič PE), nastane v součtovém transformátoru proudový rozdíl, který chránič dokáže detekovat a dochází k rozpojení obvodu.



**Obr. 3-10** Popis konstrukce proudového chrániče [23]

M - spínací mechanismus, A - diferenciální relé, W - součtový transformátor, T - testovací tlačítko

Ve většině starších domovních instalací tento jisticí prvek stále může chybět, anebo je jeho výskyt velmi omezen, jakožto doplněk k jističům pro některé obvody. Povinným doplňkovým jisticím prvkem se stal nejdříve pro elektrické rozvody v koupelnách a ve venkovních prostorech.

Od roku 2009 bylo zavedeno povinné používání proudových chráničů u všech zásuvkových obvodů v rekonstruovaných nebo nových domovních instalacích. Výjimku mohou tvořit pouze zásuvky určené pro napájení speciálních spotřebičů, které by vlivem svého vypnutí mohly způsobit velké škody. Do této kategorie spotřebičů spadá např. výpočetní technika (PC, servery atd.) a chladírenská technika (ledničky, mrazničky).

V dnešní době, kdy se proudovým chráničem jistí skoro celá domovní instalace, je nejčastěji používaným typem čtyřpólový (třífázový) model (viz. Obr. 3-11). Pro jistění jednotlivých fází lze také zvolit dvoupólový (jednofázový) model.



**Obr. 3-11** Proudový chránič čtyřpólový Moeller PF6-40/4/003 [23]

V domě nebo bytě s větším množstvím spotřebičů může nastat situace, kdy jeden centrální proudový chránič nemusí dostačovat. Toto se může projevit samovolným vybavením při spouštění určitých spotřebičů, přestože jsou bez poruchy. Je to dáno součtem jejich unikajících proudů, které ve výsledku překročí hodnotu vybavovacího proudu 30 mA. Z tohoto důvodu se ve větších domovních instalacích volí 2 - 3 proudové chrániče, které zajistí dlouhodobý a spolehlivý provoz.

Určitou alternativou může být v dnešní době pro samostatné jističe a proudové chrániče koncepce RCBO (kombinace jističe a proudového chrániče v jednom). Tyto "jističochrániče" jsou dnes k dispozici převážně ve dvoumodulové velikosti, ale nově také ve standardní velikosti 1 modulu (viz. Obr. 3-12). Jedinou nevýhodou této koncepce je poněkud vyšší cena.



**Obr. 3-12** Kombinovaný jistič a chránič BONEGA [24]

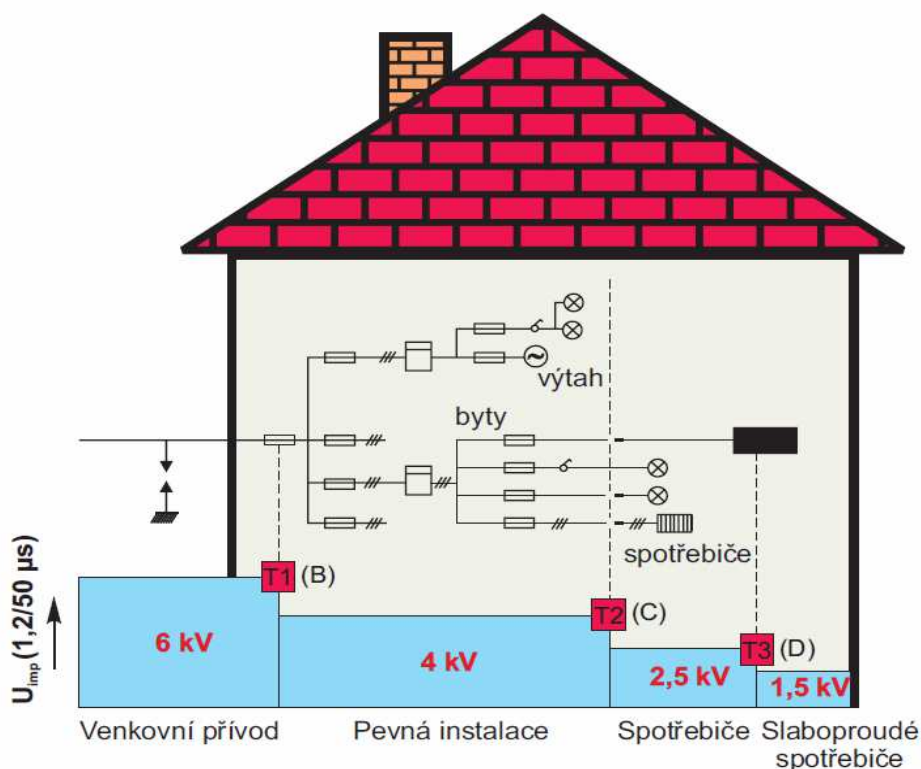


### 3.2.4 Přepět'ová ochrana

Přepět'ové ochrany tvoří část vnitřní ochrany proti přepětím. Pojem přepětí může být definován jako napětí převyšující nejvyšší hodnotu provozního napětí v elektrickém rozvodu. Jedná se o impulzní přepětí trvající maximálně jednotky milisekund. Tyto přepět'ové špičky může způsobit:

- Úder blesku do elektrického vedení
- Úder blesku do budovy
- Spínacími pochody v síti
- Elektrostatickými výboji

Základní ochranou je tzv. ochranné vyrovnání potenciálů, které se provádí vzájemným pospojováním všech vodivých částí v objektu. Zamezí se tak případnému vzniku rozdílných potenciálů mezi těmito částmi. Z jasných důvodů u vodičů v pevné instalaci k takovému pospojování dojít nemůže. Tuto úlohu plní v okamžiku přepětí právě přepět'ové ochrany. Jakmile v síti nastane přepětí překračující definovanou mez, dojde ke snížení vnitřní impedance ochrany a nastane vyrovnání potenciálů a ustálení napětí na dovolenou mez. Tyto dovolené hodnoty přepětí definuje norma ČSN EN 60664-1, které jsou nazývány hodnoty impulzních výdržných napětí  $U_{imp}$  (viz. Obr. 3-13).



Obr. 3-13 Impulzní výdržná napětí  $U_{imp}$  pro síť nn 230 / 400 V [25]

Na Obr. 3-13 je principiálně znázorněna obecná vícestupňová přepětěová ochrana. Limitní hodnoty jmenovitého napětí jsou pro síť nn stanoveny na 230/400V AC. Napětěová hladina přepětí na vstupu do budovy nesmí přesáhnout hodnotu 6 kV, což je obvykle zajištěno ochrannými prvky na elektrickém vedení. Bez použití patřičného přepětěového chrániče (chráničů) v budově však tato hodnota přepětí dokáže poškodit jak elektrickou instalaci, tak instalované spotřebiče. Dělení přepětěových ochran lze vidět v Tab. 3-3.

**Tab. 3-3** Třídy přepětěových ochran [25]

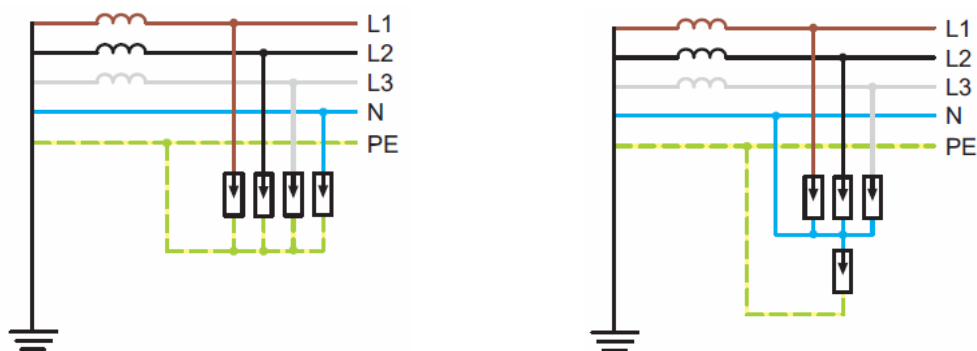
Stupeň	Typ	Třída	$U_{imp}$
1	T1	B	$\leq 4$ kV
2	T2	C	$\leq 2,5$ kV
3	T3	D	$\leq 1,5$ kV

Nejběžněji používaným modelem pro chránění sítí TN-S může být čtyřpólový svodič přepětí třídy T1 + T2. Jedná se o kompaktní řešení jiskřiště (T1) a varistoru (T2), které kombinuje výhody obou těchto typů.



**Obr. 3-14** Svodič přepětí Eaton třídy T1 + T2, 4pól, TN-S [26]

Tento model je určen pro síť typu TN-S, který je v dnešní době jednotný standard pro domovní instalace. Samotné napojení na síť může být u tohoto typu provedeno dvěma způsoby (viz. Obr. 3-15). Tyto zapojení jsou známa pod označením 4+0 a 3+1. Lepší vlastnosti v provozu vykazuje typ 3+1, obzvláště při použití přepětěové ochrany za proudovým chráničem.

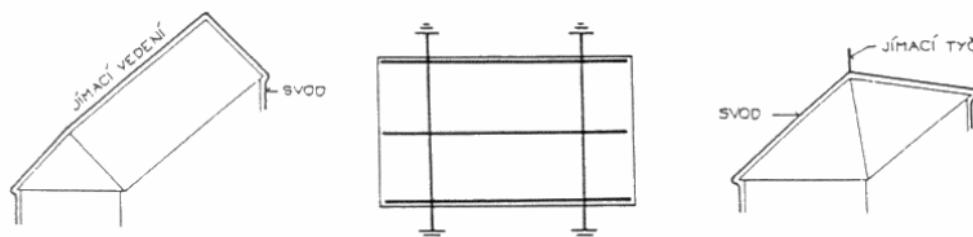


**Obr. 3-15** Zapojení 4+0 v síti TN-S; Zapojení 3+1 v síti TN-S [27]

### 3.2.5 Ochrana před úderem blesku

Vnější ochrana proti úderu blesku (hromosvod) tvoří část LPS (Lighting protection system). Jejím úkolem je pojmout a svést vzniklý elektrický náboj co možná nejkratší možnou cestou do země. Tento nebezpečný elektrický náboj vzniká buď přímým úderem blesku, nebo nepřímým úderem blesku (indukcí). Hromosvod tvoří systém svodů a jímačů, které jsou vzájemně propojeny s uzemněním. Podle polohy a typu jímací soustavy se hromosvody dělí na:

➤ **Hromosvody na chráněných objektech**



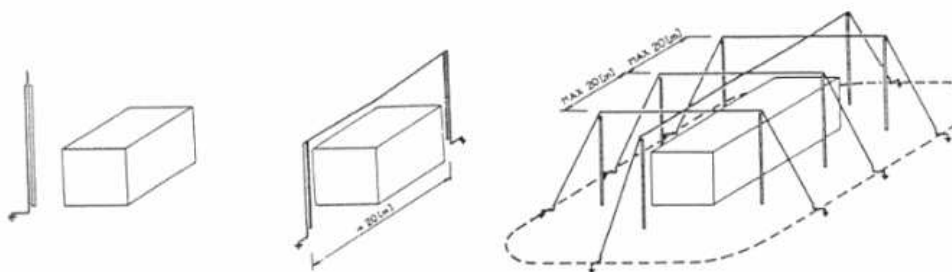
**Obr. 3-16** Hřebenová soustava; Mřížová soustava; Tyčový hromosvod [28]

Hřebenovou soustavu tvoří jímací vedení po celé délce hřebenu střechy (případně na nejvyšší hraně), který převyšuje spodní okraj střechy alespoň o 1 m.

Mřížová soustava je tvořena jímacím zařízením tvořeným sítí vodičů, které jsou v místech křížení vzájemně propojeny. Typickým příkladem pro použití tohoto typu soustavy mohou být budovy s rovnou střechou. Jímací síť se pokryje celá plocha střechy tak, aby krajní vodiče kopírovaly obvod střechy. V případě vyčnívajících objektů na střeše (např. klimatizace) lze soustavu doplnit o jímací tyče, které se umístí vedle objektů a propojí s mřížovou soustavou.

Tyčový hromosvod lze osadit v případě, kdy na střeše budovy existují místa s vyšší pravděpodobností úderu blesku. Typickým příkladem může být střecha jehlanového typu, s jedním nejvyšším bodem uprostřed.

➤ **Oddálené hromosvody**



**Obr. 3-17** Stožárový hromosvod; Závěsový hromosvod; Klecový hromosvod [28]

Tento typ hromosvodu není žádným způsobem vodivě propojen s chráněným objektem. Instalují se jako typy stožárové, závěsové nebo klecové.

### ➤ **Třídy LPS**

Jelikož mají rozdílné typy budov rozdílné požadavky na ochranu před bleskem, dělí se do odlišných tříd LPS. Podle této kategorie následně se odvíjí typ jímací soustavy, počty jímačů, svodů a jejich rozmístění.

**Tab. 3-4** Tabulka tříd LPS [29]

<b>Třída LPS</b>	<b>Druh objektu</b>
<b>I.</b>	Budovy s vysoce náročnou výrobou, energetické zdroje, budovy s nebezpečím výbuchu, nemocnice a jaderné elektrárny.
<b>II.</b>	Supermarkety, muzea, domy s nadstandardní výbavou a školy.
<b>III.</b>	Rodinné domy, administrativní domy, obytné budovy a zemědělské stavby
<b>IV.</b>	Budovy stojící v ochranném prostředí jiného hromosvodu sklady apod.

### ➤ **Základní části hromosvodu**

#### **Jímač**

Jedná se o nejvýše umístěnou část hromosvodu, která slouží k prvotnímu kontaktu s bleskem. Jako jímač se běžně používá kus drátu (50 cm) nebo speciální jímací tyče. Umisťují se vždy na exponovaná místa, jako jsou např. nejvýše položené hrany a rohy budovy. Jímací tyče mohou v některých případech dosahovat délky až 2 m.

#### **Svody**

Tato část hromosvodu spojuje jímací soustavu (jímače) se zemničem, a umožňuje tak bleskovému výboji co nejkratší cestu do země. Pro tyto účely se nejčastěji používá drátů a lan s průměrem 8 mm a 10 mm. Mohou být vedeny podél zdi, pokud se na ni nenachází hořlavý materiál. V opačném případě musí být svody umístěny na držáky ve vzdálenosti 10 cm od zdi. Každý svod musí být v dostupné úrovni nad zení vybaven rozpojitelnou zkušební svorkou.

#### **Uzemnění**

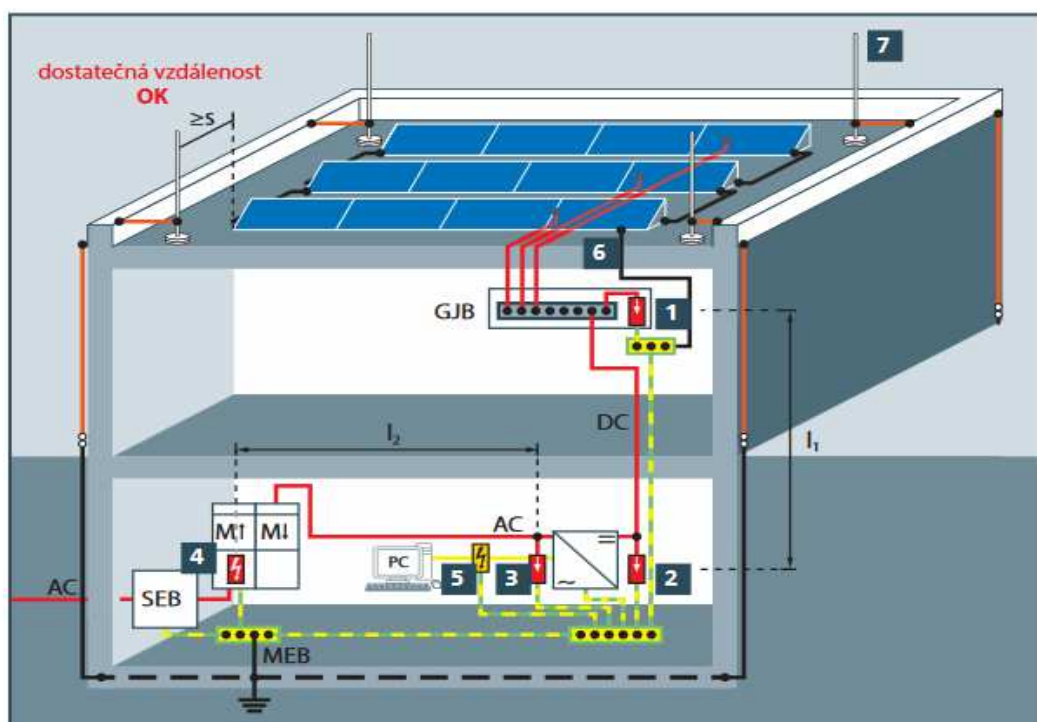
Jedná se o koncovou část hromosvodu umístěnou v zemi, která zajišťuje uzemnění celé soustavy. Tento bod by měl být také vhodně propojen s bodem potenciálového vyrovnání v domě. U zemnění je doporučen co nejmenší zemní odpor (do 15  $\Omega$ ). Hloubku uložení a typ zemniče je třeba volit tak, aby vlivem koroze nebo vysychání půdy nedocházelo ke zvyšování této hodnoty.

### 3.2.6 On-GRID solární systém

Zdrojem elektrické energie pro tento typ On-GRID systému je kombinace standardní přípojky na distribuční síť, spolu s fotovoltaickým systémem umístěným na střeše budovy. Z tohoto důvodu jsou na tyto systémy kladeny vyšší nároky na ochrany před bleskem. Jelikož je fotovoltaické zařízení přímo propojeno s elektroinstalací v budově, mohou mít účinky blesku katastrofální následky nejen pro samotnou budovu, ale také pro elektrospotřebiče a osoby uvnitř budovy.

Společnost DEHN se specializuje na komplexní systémy ochrany před bleskem a přepětím, a to nejen pro velké solární elektrárny, ale také právě pro tyto menší On-GRID solární systémy. Podle rozmístění jímací soustavy na střeše budovy vůči fotovoltaickým panelům se chránění provádí dvěma způsoby:

➤ **Vnější hromosvod s dostatečnou izolační vzdáleností**



**Obr. 3-18** Budova s vnějším hromosvodem a dostatečnou izolační vzdáleností [30]

GJB - rozvaděč přípojky fotovoltaického generátoru; SEB - domovní přípojková skříň; MEB - ochranná přípojnice; 1,2 - svodič DC strana; 3,4 - svodič AC strana; 5 - doplňkový svodič (datový); 6 - ekvipotenciální vyrovnání; 7 - vnější hromosvod (jímací tyče)

Fotovoltaické panely musí být umístěny v ochranném prostoru vnější oddělené jímací soustavy při zachování dostatečné vzdálenosti "s". Poté lze do rozvaděčů instalovat svodiče přepětí podle počtu sériově zapojených fotovoltaických panelů.

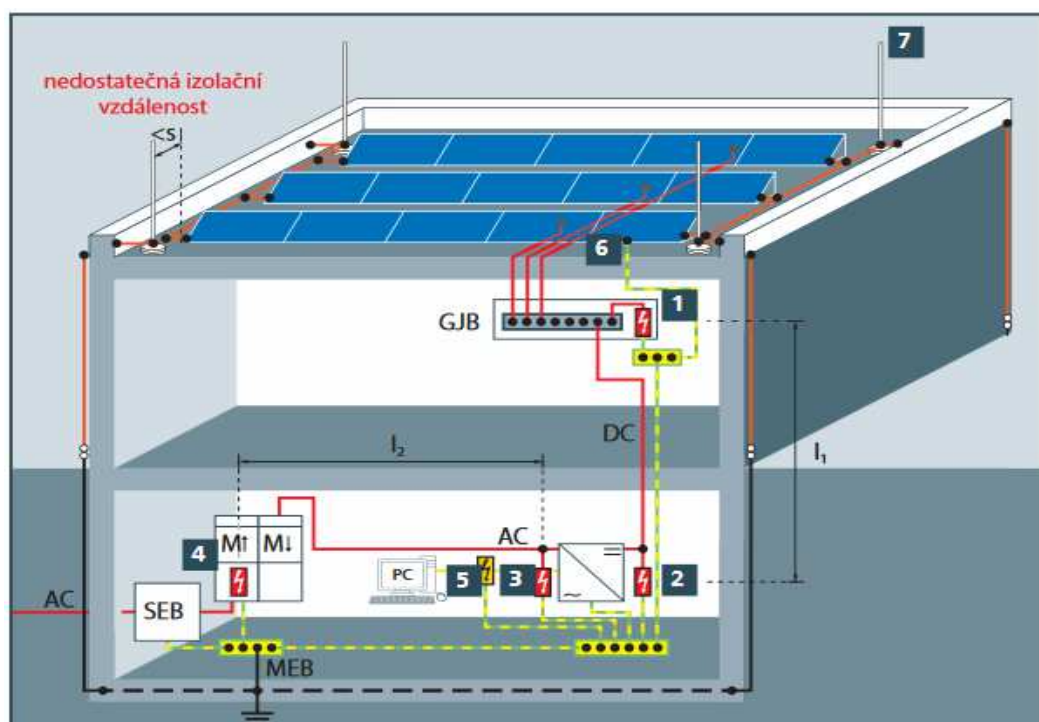
Pro fotovoltaické aplikace se nejčastěji používá typizovaný DEHNgard® M YPV SCI. Jedná se o svodič typu T2 pro přepětovou ochranu DC strany střídače. S ohledem na velikost výstupního napětí lze využít celou řadu svodičů DEHNgard® v rozsahu 48 V až 1000 V.



Obr. 3-19 DEHNgard® M YPV SCI; DEHNgard® M TN-S; DEHNgard® M YPV SCI [30]

Ze strany připojení na distribuční soustavu lze vybírat z několika možností instalace svodičů přepětí. Základní přepětovou ochranu v domovní přípojkové skříni může být kombinovaný svodič typu T1 DEHNgard® M TN-S.

### ➤ Vnější hromosvod s nedostatečnou izolační vzdáleností



Obr. 3-20 Budova s vnějším hromosvodem s nedostatečnou izolační vzdáleností [30]

Jestliže nemůže být dodržena dostatečná izolační vzdálenost (např. u kovové střechy), je nutné pro ochranu před bleskem provést potenciálové vyrovnání (pospojování). V tomto případě je nutné na stranu DC vedení nainstalovat svodič typu T1 + T2 DEHNgard® M YPV SCI. Ze strany střídavého napětí je ochrana shodná s předchozí variantou. I přes tyto ochrany zde pořád přetrvává možnost přímého úderu blesku do fotovoltaických panelů a jejich následné poškození. Pokud to je tedy možné, volí se vždy varianta oddáleného hromosvodu (viz. Obr. 3-18).

### 3.3 Jištění Off-GRID systémů

Stejně jako v případě On-GRID systémů, můžou i zde nastávat provozní poruchové stavy. Ty mohou vznikat samovolně jako důsledek stárnutí materiálů a elektrických zařízení, nebo vnějšími vlivy působícími na elektrickou instalaci Off-GRID systému. Za tyto vnější vlivy lze považovat např. zásah člověka, případně atmosférické elektrostatické vlivy (bouřka, blesk). Jelikož tento typ systému není napojen na elektrickou distribuční síť, nehrozí zde riziko poškození spotřebičů vlivem nedalekého úderu blesku do elektrického vedení.

Důsledkem poruch v Off-GRID systému jsou stejně jako v klasických On-GRID systémech poruchové stavy typu přetížení, přepětí nebo zkrat. Základním typem ochran proti těmto poruchovým stavům jsou ochrany integrované uvnitř elektrických zařízení Off-GRID systému, jako je např. solární regulátor (MPPT měnič) a měnič napětí (střídač).

#### 3.3.1 Základní integrované ochrany

Jak může být z názvu patrné, jedná se o základní typy ochran, které jsou integrovány od výroby v některých zařízeních Off-GRID systému. U levnějších modelů tyto ochrany chrání především svůj vlastní chod, aby vlivem nenadálých stavů v obvodu nedošlo k jejich poškození. Většina moderních zařízení renomovaných značek určených pro nepřetržitý provoz v Off-GRID systémech (ostrovní měniče, střídače) je již v dnešní době vybavena velkým množstvím přídatných ochran, které mají integrovány nejen pro svou vlastní ochranu, ale také pro chránění ostatních zařízení a spotřebičů.

##### ➤ Integrované ochrany MPPT měniče

Ochrana proti přepólování fotovoltaických panelů

Ochrana proti přepólování akumulátoru

Ochrana proti přepólování spotřebičů na výstupu pro zátěž (výstup LOAD)

Ochrana proti zkratu na výstupu pro zátěž (výstup LOAD)

Ochrana proti zkratu na vstupu pro fotovoltaické panely

Ochrana proti přebíjení akumulátoru - odpojí plně nabitý akumulátor od fotovoltaických panelů

Ochrana proti podpětí a přepětí - odpojí výstup zátěže při příliš nízkém nebo příliš vysokém napětí akumulátoru

Ochrana proti hlubokému vybití akumulátoru - odpojí akumulátor při hlubokém vybití nebo přetěžování akumulátoru

Ochrana proti zpětnému toku proudu - zabráňuje zpětnému toku proudu do fotovoltaických panelů (v noci)

Ochrana proti přehřátí - při dosažení limitní teploty dochází ke snížení výstupního výkonu nebo k úplnému odpojení výstupu

Ochrana proti dočasnému přepětí - vstup pro fotovoltaické panely chráněn varistorem

Ochrana proti přetížení - při překročení maximální hodnoty zatěžovacího proudu dochází k odpojení výstupu

### ➤ **Integrované ochrany měniče napětí**

Ochrana proti přepólování na vstupu - zabráňuje zničení měniče v případě vstupních svorek

Ochrana proti vysokému napětí na vstupu - v případě překročení vstupního napětí dochází k jeho odpojení od zdroje (u nominálního napětí 12 V je to cca 16 V, u napětí 24 V cca 32 V)

Ochrana proti přepětí měniče na výstupu - zabráňuje dočasnému přepětí na výstupu, které by mohlo mít za následek zničení měniče; přepětí vzniká vlivem vypínání indukční zátěže, kdy se zátěž (motor) chová na krátký okamžik jako zdroj a měnič napětí jako spotřebič

Ochrana proti zkratu na výstupu - zamezuje zničení měniče v případě zkratu na jeho výstupu

Ochrana proti přetížení - v případě příliš vysokého odběru proudu spotřebičem dochází k odpojení měniče

Ochrana proti přehřátí - při dosažení limitní teploty dochází ke snížení výstupního výkonu nebo k úplnému odpojení měniče

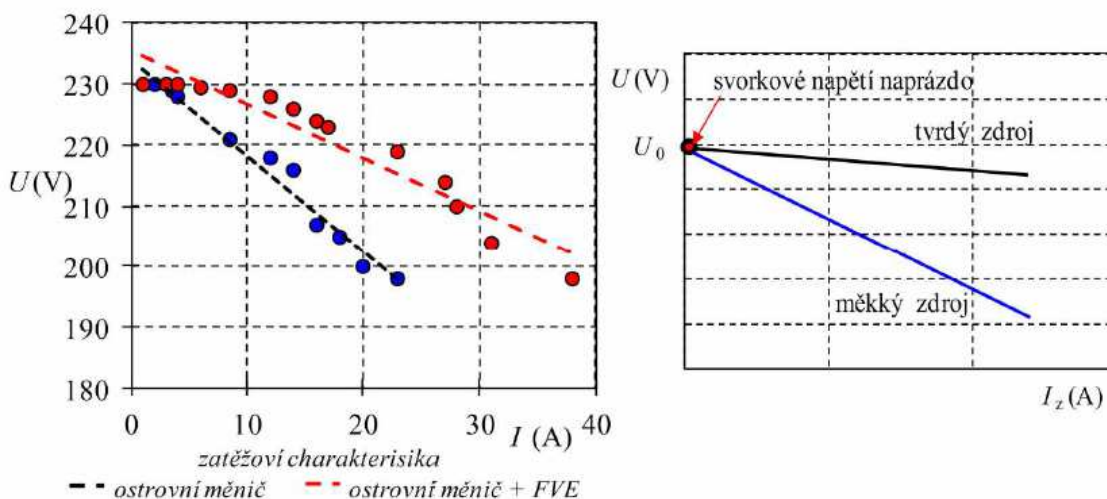
### Ochrana baterie proti hlubokému vybití

Většina baterií je velmi citlivá na hluboké vybití (obzvláště olověné akumulátory). Je to stav, kdy je baterie skoro nebo úplně vybitá. Uvedením do tohoto stavu se rapidně zkracuje její životnost. Integrovaná ochrana v měniči monitoruje napětí akumulátoru. Pokud tato hodnota poklesne pod určitou mez (12 V baterie cca 10 V, 24 V baterie cca 21 V), dochází k automatickému odpojení akumulátoru od měniče. Před samotným odpojením baterie většinou nastane akustické varování.



### 3.3.2 Poruchový stav - přetížení

Jedná se o stav, kdy je ostrovní síť zatížena většími proudy, než jsou proudy při jmenovitém zatížení. Postupným zatěžováním Off-GRID systému lze získat závislost svorkového napětí na proměnlivém odebíraném proudu. Výsledná křivka tvoří tzv. zatěžovací charakteristiku zdroje, podle které se určuje jeho tvrdost. Podle sklonu zatěžovací charakteristiky se rozlišují zdroje elektrické energie na tvrdé a měkké (viz. Obr. 3-21).



Obr. 3-21 Zatěžovací charakteristika Off-GRID měniče [31]

Typickým příkladem tvrdého zdroje může být elektrická distribuční síť. Vlivem malé vnitřní impedance klesá svorkové napětí (s rostoucím zatížením) jen velmi málo. Výsledný proud nakrátko tak může dosahovat velmi vysokých hodnot.

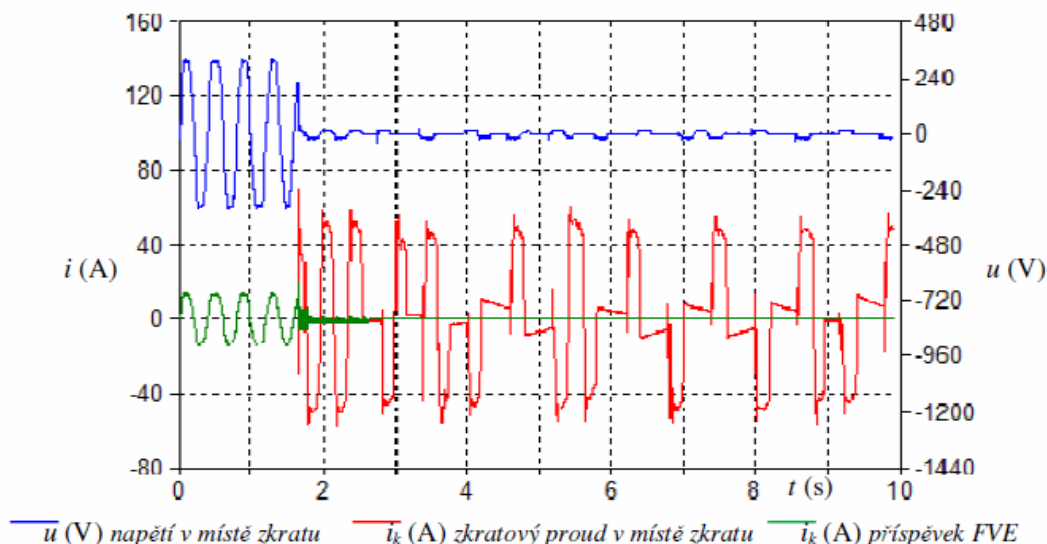
Měkký zdroj má naopak vnitřní impedanci mnohem větší, a tak s rostoucím proudovým zatížením klesá svorkové napětí velmi rychle. Proud nakrátko dosahuje mnohem menších hodnot. Příkladem měkkého zdroje může být právě Off-GRID systém s fotovoltaickými panely, kde při vyšším proudovém zatížení může docházet ke kolísání napětí.

### 3.3.3 Poruchový stav - zkrat

Ve standardních rozvodech elektrické energie nízkého napětí se využívá ochrany automatickým odpojením od zdroje, která se realizuje pomocí pojistek a jističů k tomu určených. V případě vzniku poruchy, jako je přetížení nebo zkrat protéká obvodem poruchový proud takových hodnot, na který dokáže ochranný prvek zareagovat a daný obvod odpojí.

Zkratový proud v Off-GRID systémech je dán zkratovými výkony všech zdrojů elektrické energie spolu s ostrovním měničem a střídačem.

Poruchový proud tak může vlivem vnitřního omezení ostrovního měniče nabývat pouze cca 1,2 - 3 násobku jmenovitého proudu ostrovního měniče. Výsledný zkratový proud na výstupu střídače tak může nabývat hodnoty v řádu desítek ampér. To je v porovnání se standardními rozvody elektrické energie mizivá hodnota, kde mohou zkratové proudy nabývat řádově vyšších hodnot. Průběhy napětí a proudů v místě 1f. zkratu lze vidět na Obr. 3-22.



**Obr. 3-22** Průběhy napětí a proudů během 1f. zkratu v Off-GRID systému

Z Obr. 3-22 je patrné, že hodnota zkratového proudu  $i_k$  dosahuje hodnoty zhruba 60 A. Tato hodnota zkratového proudu může navíc značně kolísat s ohledem na úroveň nabití akumulátorů, případně úroveň zatížení střídače v okamžiku vzniku zkratu.

Pro jištění proti zkratům na výstupu střídače lze však využít měkké charakteristiky Off-GRID systému. Jak je patrné z V okamžiku vzniku zkratu dochází k okamžitému poklesu napětí na úroveň cca 10 V.

Nabízí se tak možnost jištění proti zkratu na výstupu ostrovního střídače použitím podpětového relé. Toto relé pracuje na principu neustálého snímání velikosti fázového napětí, které jakmile zaznamená pokles napětí pod nastavenou úroveň (např. 200 V AC), dochází vlivem spouště k vybavení spřaženého jisticího prvku (jističe), který zajistí rozpojení obvodu. Aby nedocházelo k samovolnému vybavování ochrany vlivem krátkodobých poklesů napětí v síti, lze u podpětové spouště nastavit mírné časové zpoždění.

### 3.3.4 Jištění stávající technikou

V současné době existuje na trhu dostatečné množství pojistek a jističů určených pro nejrůznější použití, fotovoltaické a Off-GRID aplikace nevyjímaje. Většina z nich je však určena pro rozsáhlejší aplikace vyšších výkonových tříd, na které jsou dimenzovány.

Existují však také jistící prvky speciálních řad určených právě pro tyto aplikace. Principiálně i vizuálně jsou shodné s klasickými jistícími prvky, jen jsou uzpůsobeny na DC napětí a požadovaný proudový rozsah. Typickým příkladem výrobce nabízející tento typ produktů je tuzemská firma OEZ. Například produktová řada „Minia“ a „Varius“ nabízí kompletní nabídku jisticích zařízení DC i AC s velmi širokým proudovým a typovým rozsahem.



**Obr. 3-23** DC jistič dvoupólový LPN-DC, DC odpojovač pojistek OPF10 [32], [33]



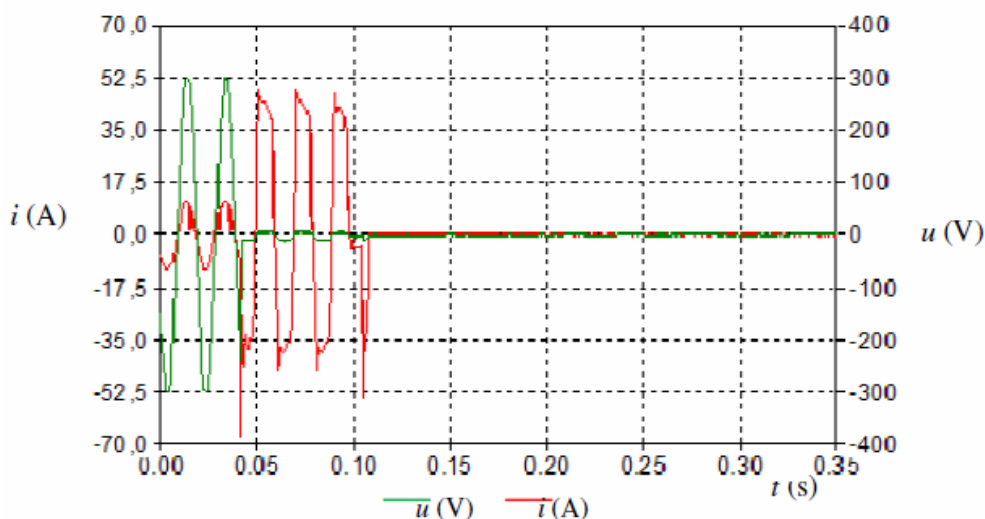
**Obr. 3-24** AC podpěťová spoušť SP-LP, AC jistič dvoupólový LPN [32]

### 3.3.5 Ostatní typy jištění

Alternativní možností pro jištění Off-GRID systému je možnost použití nadproudových číslicových ochran. Jedná se o velmi moderní zařízení, které se v dnešní době využívají kromě chránění také pro monitorování, ovládání a měření. Obvykle se tento typ ochrany volí pro větší a dražší aplikace pracující na vyšší napěťové hladině VN. Vzhledem k jejich vysoké ceně však není tento typ ochrany pro Off-GRID aplikace příliš rozšířen.

Tento typ ochrany pracuje na principu směrového nadproudového chránění s předdefinovanými typy charakteristik, u kterých je možno nastavovat startovací hodnoty zkratového stupně. Výhodou těchto ochran je komunikace s jinými kompatibilními ochranami, které dokážou v případě potřeby například blokovat nadproudové stupně.

Samotný chod ochrany je relativně jednoduchý. Pokud dojde k překročení nastavené vybavovací hodnoty zkratového stupně, dochází k vybavení příslušného jistícího zařízení.



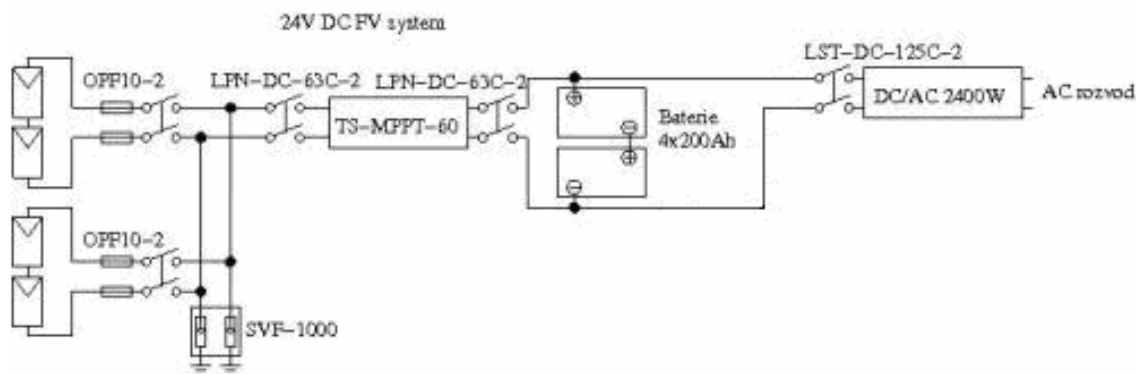
**Obr. 3-25** Průběh vypnutí 1f. zkratu na spotřebiči vlivem číslicové nadproudové ochrany

Další alternativou pro jištění jednofázové ostrovní sítě vůči zkratu a přetížení může být tzv. adaptivní systém chránění. Tento systém vychází z konceptu chránění vycházející z norem a požadavků pro elektrické instalace s hladinou napětí do 1000 V.

Pod pojmem adaptivní systém si lze představit zařízení schopné měnit hodnotu vybavovací spouště jistícího prvku s ohledem na proměnlivou hodnotu zkratového výkonu Off-GRID systému. Tímto způsobem lze teoreticky vytvořit Off-GRID systém s dokonalejší selektivitou jištění, a to i přes proměnlivý zkratový výkon systému.

## 4 Návrh koncepce chránění

Pro návrh koncepce chránění jsem zvolil domácí ostrovní fotovoltaický systém o výkonu 840 Wp. Tento systém je schopen zásobovat elektrickou energií menší rodinný dům od jara do podzimu. Svou velikostí, výkonem a cenou se jedná o relativně rozšířený a dostupný set ostrovního systému určený pro běžné spotřebitele. Systém je galvanicky oddělen od distributorské sítě.



*Obr. 4-1 Schéma zapojení ostrovního systému [34]*

### 4.1 Jednotlivé prvky Off-GRID systému

Základ tvoří 4 solární panely od společnosti Evergreen Solar o výkonu 210 Wp. Orientace šikmé střechy je směrem na jih, s náklonem cca 20°.

Mozek systému tvoří MPPT regulátor Morningstar Tristar MPPT 60, který kromě regulace nabíjení baterií měří a zaznamenává teploty, napětí a proud protékající systémem.

Pro použití běžných spotřebičů na napětí 230 V AC je ostrovní systém vybaven kvalitním sinusovým střídačem Struder AJ 2400-24 o trvalém výkonu 2000 W (2400 W po dobu 30-ti minut, 8000 W špičkově).

Akumulátory jsou olověného typu, deep-cycle solární baterie o kapacitě 4 x 200 Ah.

Veškeré jištění je použito od tuzemské firmy OEZ.

### 4.1.1 Jistící prvky Off-GRID systému

#### ➤ Svodič přepětí SVF 1000 V DC



*Obr. 4-2 Svodič přepětí  
SVF-1000 [35]*

- Slouží k ochraně elektrických sítí a zařízení před přepětím vzniklým přímým nebo nepřímým úderem blesku do jímacího zařízení budov
- Snižuje napětí a omezuje energii přepět'ové vlny způsobené přímým nebo nepřímým úderem blesku
- Použití jako střední stupeň ochrany před přepětím (typ T2)
- Vhodný pro fotovoltaické aplikace

#### ➤ Odpojovač válcových pojistkových vložek OPF10-2 DC



*Obr. 4-3 Odpojovač pojistek  
OPF10-2 DC [33]*

- Pojistkové odpojovače OPF10 jsou určeny pro válcové pojistkové vložky PF10 velikosti 10 x 38
- Maximální jmenovitý proud pojistkové vložky 32 A
- Podle typu mohou být jednopólové nebo dvoupólové
- Charakteristika pojistek typu gR pro jištění polovodičů před přetížením a zkratem (vhodné pro fotovoltaické systémy)

#### ➤ Stejnoseměrný jistič dvoupólový LPN-DC-63C-2



*Obr. 4-4 Dvoupólový jistič  
LPN-DC-63C-2 [32]*

- Jistí proti přetížení a zkratu
- Vypínací charakteristika typu C
- Jmenovitá hodnota proudu 63 A
- Minimální provozní napětí 12 V DC
- Jmenovitá zkratová schopnost  $I_{cn}$  10 kA
- Životnost mechanická: 20000 cyklů; elektrická: 4000 cyklů

➤ **Stejnoseměrný jistič dvoupólový LST-DC-125C-2**



- Jistí proti přetížení a zkratu
- Vypínací charakteristika typu C
- Jmenovitá hodnota proudu 125 A
- Minimální provozní napětí 12 V DC
- Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost  $I_{cu}$  10 kA
- Životnost mechanická: 10000 cyklů; elektrická 4000 cyklů

*Obr. 4-5 Dvoupólový jistič  
LST-DC-125C-2 [36]*

➤ **Podpěťová spoušť SP-LP-A230**

Jedná se o variabilní příslušenství k jističům typu LPE, LPN a LST. Zapojení tohoto typu ochrany na výstup střídače Struder AJ 2400-24 (230 V AC) a její spřažení spolu s příslušným jističem zajistí ochranu proti nebezpečnému poklesu napětí pod stanovenou hladinu.

Pokles výstupního napětí se projeví jakožto důsledek nadměrného přetížení nebo zkratu, kdy je podpěťová spoušť schopna téměř okamžitě zareagovat na změnu a vybavit tak ochranu. Okamžitá reakce ochrany nemusí být vždy žádoucí, jelikož krátkodobý pokles napětí může být způsoben skokovými špičkami při spouštění některých elektronických zařízení. Tuto nevýhodu lze potlačit pomocí nastavení časového zpoždění reakce spouště, které se volí obvykle 0,2 s nebo 0,4 s.



- K vybavení spouště dochází poklesu napětí pod 70%  $U_N$
- Provedení bez časového zpoždění spouště, 0,2 s nebo 0,4 s
- Vypínací čas max. 45 ms
- Spotřeba 2,6 W
- Jmenovité napětí  $U_N$  230 V AC
- Jmenovitý kmitočet 40 - 60 Hz

*Obr. 4-6 Podpěťová spoušť  
SP-LP-A230 [32]*

## 5 Závěr

Off-GRID systémy jsou v dnešní době velmi rozšířenou záležitostí. Může se jednat o velmi malé ostrovní systémy, jakým je např. solární pouliční osvětlení, napájení značení na dálnicích nebo napájení informačních tabulí, nebo také může jednat o větší ostrovní systémy, jež napájí sezónní rekreační objekty (chaty, chalupy) bez přípojky k distribuční síti. Ty největší Off-GRID systémy jsou schopny s určitými kompromisy celoročně napájet rodinné domy, firmy, administrativní budovy, hotely, případně skupiny objektů, jako jsou např. satelitní městečka.

Stejně jako jsou klasické domovní instalace vybaveny jištěním proti poruchovým stavům v elektrickém rozvodu, je nutné zajistit potřebné jištění i v Off-GRID systémech. Tato diplomová práce se zaměřuje na jištění ostrovního systému schopného napájet menší rodinný dům od jara do podzimu.

Základním rozdílem mezi On-GRID a Off-GRID systémy je rozdílný typ chování během poruchových stavů, jako je např. přetížení a zkrat.

On-GRID systémy jsou charakterizovány jako zdroj s tvrdou zatěžovací charakteristikou s vysokým zkratovým výkonem, jež je schopna distribuční síť dodat. Během poruchy na elektrickém zařízení (zkrat) tečou obvodem velmi vysoké zkratové proudy, na které dokážou konvenční pojistky a jističe včas zareagovat a odpojit poruchovou část obvodu.

Oproti tomu jsou Off-GRID systémy charakterizovány jako zdroj s měkčí zatěžovací charakteristikou, jehož zkratový výkon je dán zkratovými výkony všech zdrojů, tj. baterií, fotovoltaických panelů a případně také malou větrnou elektrárnou. Nejen že je celkový zkratový výkon Off-GRID systému nesrovnatelně menší, vlivem proměnlivého výkonu jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie je zkratový výkon také velmi proměnlivý. V případě zkratu na elektrickém zařízení tak poruchovým obvodem tečou nesrovnatelně menší zkratové proudy oproti On-GRID systému. Použití jistících prvků shodných parametrů je tak v ostrovním systému neúčinné.

Na trhu existují speciální řady jistících prvků vhodné právě pro toto použití. Velká část z nich jsou konstruována na vyšší napěťové a výkonové hladiny, používané u větších fotovoltaických elektráren. Existují však také typy a řady jistících prvků, které jsou svými parametry schopny zajistit jištění jak na DC části, tak na AC části Off-GRID systému. Jejich vhodnou volbou a kombinací tak lze zajistit dlouhodobě bezpečný provoz.

Nevýhody tohoto typu jištění vyplývají z proměnlivého chování ostrovního systému. Nelze tak zajistit selektivitu jištění na takové úrovni, které se dosahuje u On-GRID systému. Podstatnou výhodou však můžou být přiměřené pořizovací náklady tohoto typu jištění s ohledem na cenu samotného ostrovního systému.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] *Jak funguje ostrovní solární systém* [online]. c2015, [cit. 2016-03-18]. Dostupné z <<http://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-systém/>>
- [2] *Fotovoltaické elektrárny* [online]. c2016, [cit. 2016-03-18]. Dostupné z <<http://www.solarnielektrarny.cz/energetika/fotovoltaicke-elektrarny>>
- [3] *Fotovoltaické solární systémy* [online]. c2016, [cit. 2016-03-18]. Dostupné z <<http://www.zsseifertova.ji.cz/sites/default/files/html/slundos/fv.pdf>>
- [4] *Solární články z krystalického křemíku* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky>>
- [5] *Obnovitelné zdroje* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://docplayer.cz/1753207-Obnovitelne-zdroje-veda-pro-zivot-zivot-pro-vedu-registracni-cislo-cz-1-07-2-3-00-45-0029-ing-blanka-skocilasova-ph-d.html>>
- [6] *Charakteristiky fotovoltaického modulu* [online]. c2012, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.mlab.cz/WebSVN/filedetails.php?repname=svnaklik&path=%2Fdokumenty%2Fskolni%2FEZF%2FFotovoltaicke\\_clanky%2Fmereni4%2Fzadani.pdf](http://www.mlab.cz/WebSVN/filedetails.php?repname=svnaklik&path=%2Fdokumenty%2Fskolni%2FEZF%2FFotovoltaicke_clanky%2Fmereni4%2Fzadani.pdf)>
- [7] *Strojovna větrné elektrárny* [online]. c2013, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny/324>>
- [8] *Domácí větrná elektrárna* [online]. c2015, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/domaci-vetrna-elektrarna-instalace-prehled-modelu.aspx>>
- [9] *Malá větrná elektrárna v praxi* [online]. c2015, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.nazeleno.cz/energie/vetrna-energie/mala-vetrna-elektrarna-v-praxi-kolik-vydela.aspx>>
- [10] *SG 950 - elektrocentrála* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<https://www.garland.cz/e-obchod/sg-950-elektrocentrala-720-w-334677.html>>
- [11] *Honda EM 30 K2 - elektrocentrála* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.aspa.cz/honda-em-30-k2-f-elektrocentrala-z81921>>
- [12] *Jaký solární regulátor* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>>
- [13] *Tracer MPPT 2215RN* [online]. c2011, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.solar-elektro.cz/?action=detail&id=ID252&catg=0>>
- [14] *The best gear for your road trip* [online]. c2015, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://thewirecutter.com/reviews/the-best-gear-for-your-road-trip/>>
- [15] *Měnič napětí CAR500U* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.deramax.cz/menic-napeti-car500u-242-24v-230v-500w-usb-5v-carspa>>
- [16] *Měnič napětí P2000* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.deramax.cz/menic-napeti-p2000-242-24v-230v-2000w-cista-sinusovka-carspa>>

- [15] *Akumulátory pro měniče napětí* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.deramax.cz/akumulatory-pro-menice-napeti-7-dil-ze-serialu-clanku>>  
*Trakční baterie VARTA Professional* [online]. c2012, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.battery.cz/trakcni-baterie-varta-professional-dual-purpose-deep-cycle-140ah-12v-lfd140.html>>
- [16] *Bezúdržbové akumulátory AGM* [online]. c2011, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.tomshardware.sk/n/bezudrzbove-akumulatory-agm-jak-je-koupit-nabijet-a-skladovat>>  
*Gelový akumulátor Exide 85 Ah* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.mujsaravan.cz/caravan-stohl/eshop/9-1-Elektrina/0/5/2831-Gelovy-akumulator-EXIDE-ES-950-85-Ah>>
- [17] *Li-Fe-Po akumulátory* [online]. c2015, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elektřiny.aspx>>
- [18] *Elektrické ochrany v soustavách nn* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-pojistka/>>
- [19] *Tavná pojistka* [online]. c2013, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T-1.3-POJISTKA.pdf>>
- [20] *Základní požadavky na jistící přístroje* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://elektrika.cz/data/clanky/zakladni-pozadavky-na-jistici-pristroje-a-jejich-hlavni-parametry>>
- [21] *Nožové pojistky OEZ řady PN* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://goo.gl/7d6T4C>>
- [22] *ELUC ochranné přístroje* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/374>>  
*Jistič ABB S201-B16* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.ielektra.cz/jistic-compact-s201-b16-jednofazovy-16-a-charakteristika-b>>
- [23] *Co je to proudový chránič* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://elektrolamy.xf.cz/FI/FI.html>>
- [24] *Jednomodulový "chráničojistič"* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.elektrospolek.cz/Clanky/clanek\\_40/clanek\\_40.php](http://www.elektrospolek.cz/Clanky/clanek_40/clanek_40.php)>
- [25] *Elektrické ochrany v soustavách nn* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-4-dil-prepetova-ochrana/>>
- [26] *Svodič přepětí třídy T1 + T2* [online]. c2016, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.elima.cz/obchod/158331-spbt12-280\\_4-svodice-prepeti-tridy-t1\\_t2-b\\_c-4pol-sada-pro-tn-s-eaton-p-22881.html](http://www.elima.cz/obchod/158331-spbt12-280_4-svodice-prepeti-tridy-t1_t2-b_c-4pol-sada-pro-tn-s-eaton-p-22881.html)>
- [27] *Aplikační příručka - přepětové ochrany* [online]. c2012, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://goo.gl/rWzwN7>>
- [28] *Blesk - elektrický rázový výboj* [online]. c2002, [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/hromosvody.pdf>>

- [29] *Revize a kontroly hromosvodů* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://kvalifikace.sosasource.cz/2-3-4-2-lhuty-revizi-a-kontrol-hromosvodu/>>
- [30] *Ochrany fotovoltaických zařízení DEHN* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.dehn.cz/pdf/downloads/brozury/publikace2016/DS109-Fotovoltaika.pdf>>
- [31] *Základy elektrotechniky* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zae/el4.htm>>
- [32] *Jistící prvky OEZ řady "Minia"* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-z01-11\\_cz\\_sk.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/3286-z01-11_cz_sk.pdf)>
- [33] *Jištění fotovoltaických systémů OEZ* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.oez.cz/uploads/download/aktuality/OEZ\\_Jisteni\\_fotovoltaickych\\_systemu.pdf](http://www.oez.cz/uploads/download/aktuality/OEZ_Jisteni_fotovoltaickych_systemu.pdf)>
- [34] *Ostrovní fotovoltaický systém* [online]. c2011 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <<http://marek.drapal.org/ostrovni-fotovoltaicky-system>>
- [35] *Svodiče přepětí pro fotovoltaické aplikace* [online]. c2011 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4801-Z02-10\\_CZ\\_SK\\_EN\\_RU\\_ES\\_HU\\_PL\\_UA.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4801-Z02-10_CZ_SK_EN_RU_ES_HU_PL_UA.pdf)>
- [36] *Jističe OEZ LST-DC řady "Minia"* [online]. c2016 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z <[http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4747-z01-15\\_cz\\_sk.pdf](http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4747-z01-15_cz_sk.pdf)>